

621

Г-9

Гружеев

АСТУСЛАДАН

ХУСАНУКА

А. Д.

1704



RECEIVED  
JAN 10 1891  
LIBRARY OF THE  
UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE  
WASHINGTON, D. C.





П

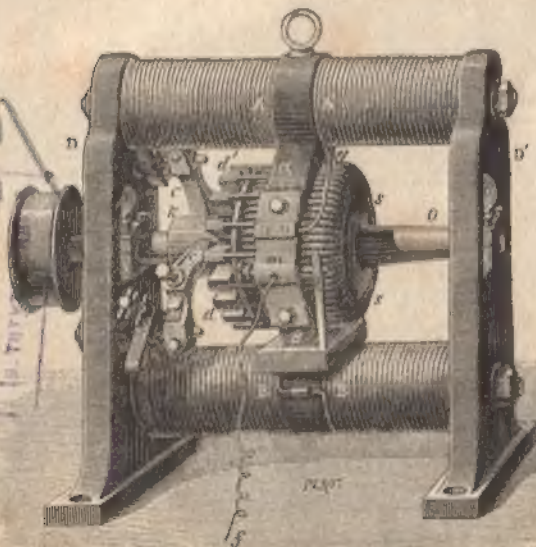
С. ГУРЖЕЕВЪ.

У 621  
Г-95

# ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

2-е ИЗДАНИЕ,

ПЕРЕСМОТРѢННОЕ И ЗНАЧИТЕЛЬНО ДОПОЛНЕННОЕ.



Съ 349 политипажамъ въ текстѣ и собраніемъ задачъ съ ихъ рѣшеніями.

1-е ИЗДАНИЕ ОДОБРЕНО УЧЕНЫМЪ КОМИТЕТОМЪ МИНИСТЕРСТВА НАРОДНАГО  
ПРОСВѢЩЕНІЯ.

О С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Издание Л. Ф. Пантелѣева.  
1888.



# ОГЛАВЛЕНІЕ.

	СТРАП.
Предисловіе . . . . .	(—) 1
Введеніе . . . . .	1—2

## I. Передаточные механизмы.

Классификація приводовъ . . . . .	13
Глава I. Передача движенія при помощи гибкихъ тѣлъ . . . . .	14—31
» II. Передача движенія непосредственнымъ прикосновеніемъ . . . . .	32—63
» III. Передача движенія при посредствѣ промежуточныхъ твердыхъ тѣлъ . . . . .	64—80

## II. Машины-двигатели.

Подраздѣленіе машинъ-двигателей.—Нажимъ Прони . . . . .	81—85
Глава IV. Пріемники живыхъ двигателей . . . . .	86—105
» V. Гидростатика . . . . .	106—119
» VI. Гидродинамика . . . . .	120—141
» VII. Гидравлическія колеса . . . . .	141—165
» VIII. Турбины.—Водостолбовыя машины . . . . .	165—196
» IX. Пріемники вѣтра . . . . .	196—207
» X. Паровые котлы . . . . .	208—255
» XI. Паровыя машины.—Маховики и регуляторы . . . . .	256—286
» XII. Распределеніе и охлажденіе пара . . . . .	286—319
» XIII. Системы паровыхъ машинъ . . . . .	320—366
» XIV. Калорическія и газовыя машины.—Динамомашинны . . . . .	367—388

## III. Рабочія машины.

Классификація рабочихъ машинъ . . . . .	389—390
Глава XV. Водоподъемныя машины.—Мукомольный постановъ . . . . .	390—412
Рѣшеніе задачъ . . . . .	413—419
Указатель литературы . . . . .	420





## ПРЕДИСЛОВІЕ.

Настоящая книга заключаетъ въ себѣ *курсъ практической механики* въ элементарномъ, научномъ изложеніи.

Въ основаніе курса положенъ *принципъ сохраненія энергій*, который даетъ возможность установить тѣсную связь между различными отдѣлами курса и тѣмъ въ значительной степени облегчить изученіе предмета.

Въ первомъ отдѣлѣ курса изложены *элементы прикладной кинематики*. Последняя, имѣя предметомъ изученіе соотношеній между движеніями частей машины, съ кинематической точки зрѣнія, заключаетъ въ себѣ богатый общеобразовательный матеріалъ. Поэтому я не ограничился голымъ описаніемъ тѣхъ или другихъ механизмовъ, но считъ необходимымъ изложить *основные принципы теоріи механизмовъ* — общіе принципы передачи и преобразованія движеній.

Отдѣлъ *машинъ-двигателей* заключаетъ въ себѣ *главнѣйшіе типы современныхъ моторовъ*, которые разсматриваются какъ со стороны ихъ дѣйствія, такъ и со стороны наивыгоднѣйшаго устройства. Каждому роду моторовъ предпослано изложеніе важнѣйшихъ свойствъ двигателя, изученіе которыхъ необходимо для полнаго уясненія устройства и дѣйствія самого мотора.

Въ послѣднемъ отдѣлѣ — *рабочія машины* — разсмотрѣны, какъ примѣры пользованія работою двигателей, водоподъемныя и мукомольныя машины, имѣющія наиболѣе общій интересъ. Въ концѣ каждой главы помѣщены разнообразныя задачи, а въ концѣ книги — отвѣты и подробныя рѣшенія.



Программа и система изложения въ настоящемъ, **второмъ**, изданіи тѣ же, какъ и въ первомъ, но всѣ безъ исключенія статьи подверглись существенной переработкѣ, предпринятой съ цѣлью придать книгѣ *большій практическій интересъ, возможную полноту и поставить ее на уровень современныхъ успехов машиностроенія*. Не входя въ подробный перечень всѣхъ измѣненій и дополненій, сдѣланныхъ въ каждомъ изъ трехъ отдѣловъ курса, которыя легко можно видѣть изъ подробныхъ оглавленій, помѣщенныхъ передъ каждой статьей, укажемъ на важнѣйшія изъ нихъ. Всѣ устарѣвшія конструкціи замѣнены во всѣхъ отдѣлахъ новыми, наиболѣе распространенными въ практикѣ. Отдѣлъ *«передаточные механизмы»* дополненъ двумя новыми статьями: *о дифференціальномъ движеніи и эпитциклическихъ зацепленіяхъ*, находящихся себѣ все большее и большее примѣненіе въ станкахъ для обработки металловъ и дерева. Статья *о турбинахъ*, въ которой главное мѣсто отведено *активнымъ турбинамъ*, получившимъ въ послѣднее время первенствующее значеніе въ техникѣ, выдѣлена въ особую главу. Въ отдѣлѣ *паровыхъ машинъ* обращено особое вниманіе на клапанные распределительные механизмы *Зульцера и Кольмана*, а также на *компаундъ-машины*, при чемъ всѣ эти статьи снабжены подробными чертежами новѣйшихъ образцовъ. Статья *о паровозахъ* въ новомъ изданіи обнимаетъ собою не только общее, но и детальное устройство частей паровоза, а также управленіе и уходъ за нимъ. Наконецъ, въ этомъ же отдѣлѣ помѣщена вновь статья *о динамомашинныхъ*, которыя въ послѣднее время находятъ себѣ многообразныя примѣненія на фабрикахъ и заводахъ для электрической передачи работы на разстоянія. Въ концѣ каждой статьи о моторахъ помѣщены необходимыя свѣдѣнія *объ управленіи и уходѣ* за ними, какъ весьма полезныя дополненія практической части курса.



## ВВЕДЕНИЕ.

Предметъ прикладной механики. — Назначеніе и польза машинъ. — Естественныя энергіи, служащія двигателями, и ихъ источники. Главнѣйшіе органы машинъ — Уравненіе передачи работы машинною. Условия наилучшей передачи работы двигателя. Причины неравномерности движущихъ машинъ — Уравнители движущихъ. Возможность устройства вѣчнаго двигателя (*perpetuum mobile*).

**1. Предметъ прикладной механики** Предметъ прикладной или практической механики составляетъ *ученіе о машинахъ*. Она раздѣляется на 3 отдѣла:

1) *Прикладную кинематику* или *исчислительную теорію механизмовъ*, въ которой разсматриваются слѣдующіе вопросы:

а) какую форму и какое расположеніе должно дать частямъ машинъ, чтобы получить требуемое движеніе и обратно;

б) даны форма и соединеніе частей машины, определить движеніе ея, т. е. определить отношеніе между скоростями различныхъ точекъ машины<sup>1)</sup>.

Всякая машина, кѣмъ назначена совершать всегда опредѣленную работу, должна имѣть одно опредѣленное же движеніе. Поэтому части ея должны быть соединены между собою такимъ образомъ, чтобы, взирая эти части, получить требуемое движеніе, дѣлая бы нѣсколько инымъ всякое другое. Съ этой точки зрѣнія всякая машина должна удовлетворять слѣдующимъ двумъ условиямъ: 1) каждая ея точка можетъ двигаться только по одной опредѣленной траекторіи, 2) движеніе одной точки определяетъ движеніе остальныхъ, такъ что положеніе занимаемое послѣдними въ каждый данный моментъ, вполнѣ определяется положеніемъ первой точки. Условия эти выражаютъ, говоря, что части машинъ *должны взаимно соизмѣняться*, или что машина есть *система соизмѣняющихся системъ*. Показано, что хотя скорѣе движеніе и частей машины находятся въ зависѣмости отъ дѣйствующихъ силъ, но не измѣняется съ измѣненіемъ этихъ силъ, но отношеніе между скоростями различныхъ частей машины *останется не измѣняющимся*. Они суть функціи только геометрическихъ связей существующихъ между частями. Поэтому возможно изучать движеніе механизмовъ независимо отъ силъ, производящихъ это движеніе, определяя не абсолютныя скорости частей машины, а лишь отношенія между этими скоростями.

Прикладная кинематика, рѣшая эти вопросы независимо отъ силъ, сообщающихъ движеніе частямъ машины, т. е. чисто кинематически, составляетъ вступленіе въ науку о машинахъ вообще, подобно тому какъ теоретическая кинематика служитъ введеніемъ въ науку о движеніи.

2. *Прикладную динамику или динамическую теорію машинъ*, изучающую движеніе машины, при данной формѣ и расположеніи ея частей, въ зависимости отъ данныхъ силъ (двигателя и сопротивленій), а также изыскующую способы наивыгоднѣйшаго примѣненія движущихъ силъ.

3. *Теорію построения машинъ*, имѣющую цѣлью опредѣленіе усилій, которымъ подвержены различныя части машинъ во время ея движенія, и размѣровъ, какіе только придать каждой части для прочнаго сопротивленія этимъ силамъ. Такъ какъ слишкомъ значительные размѣры увеличиваютъ безъ пользы объемъ, вѣсъ и стоимость машины, то главной задачею теоріи построения машинъ состоитъ въ опредѣленіи наименьшихъ размѣровъ, при которыхъ части машинъ въ состояніи вытеркать наибольшія усилія, каковыя онѣ должны подвергаться во время движенія машины, не претерпѣвая значительныхъ измѣненій въ формѣ. Основаніемъ теоріи построения машинъ служитъ *ученіе о сопротивленіи материаловъ*.

Въ настоящемъ курсѣ будутъ изложены основныя принципы первыхъ двухъ отдѣловъ практической механики и изъ третьяго отдѣла — способы опредѣленія силъ и моментовъ, по которымъ различныя части машинъ во время движенія.

2. **Назначеніе и польза машинъ.** Цѣль устройства машинъ весьма разнообразна, но въ сущности ея результатъ сводится на сообщеніе вѣстнаго рода движенія или инымъ тѣламъ (*полезный эффектъ, полезныя, производныя машины, побѣдныя машины, приводныя станки*), или же только нѣкоторымъ ихъ частямъ (*смазочныя жернова, дымовыя машины, кузнечныя молота, строгальныя и токарныя станки*). Для возможности выполненія своего назначенія, машина должна быть подвержена дѣйствію *оказывающей силы или двигателя*, работа котораго, передаваясь отъ одного органа машины къ другому и до послѣдняго, исполняющаго механическую операцію, для которой машина назначена, расходуется на преодоленіе вѣсѣхъ *сопротивленій* полезныхъ и вредныхъ, встречающихся въ машинѣ.

Такимъ образомъ, *цѣль именемъ машинъ надо разумѣть совокупность тѣлъ, соединенныхъ между собою опредѣленными образомъ и служащихъ для передачи работы двигателя тѣламъ, подверженнымъ обработкѣ или передвиженію*.

Хотя при употребленіи машинъ часть работы двигателя, иногда весьма значительная, затрачивается бесполезно на преодоленіе вредныхъ сопротивленій, тѣмъ не менѣе машины имѣютъ огромное

значение въ промышленности, ибо въ большинствѣ случаевъ непосредственное примѣненіе двигателя для произведенія надлежащей мех. операціи оказывается или неудобнымъ или невозможнымъ. Съ другой стороны, машины, передавая работу двигателя, даютъ возможность *преобразовать* эту работу, т. е. измѣнять по произволу одинъ изъ двухъ множителей работы — силу и путь или скорость, какъ по величинѣ, такъ и по направленію.

Чтобы выяснитъ сущность преобразования работы машиною, разсмотримъ простой примѣръ. Положимъ, что рабочій пользуется машиною для поднятія грузовъ и производить полезную работу въ 6 в. м. въ сек. При помощи машины рабочій можетъ поднять 6000 кг. на высоту 0.001 м., или 60 в. м. на 0.1 м., или 0.06 в. м. на 100 м. и т. д. Такимъ образомъ, при помощи машины рабочій можетъ сообщать перемѣщенія, хотя и очень медленныя, такимъ грузамъ, какихъ онъ не могъ бы сдвинуть съ мѣста, и тѣмъ же сообщать небольшимъ грузамъ тѣмъ значительныя скорости, какихъ безъ помощи машины онъ не былъ бы въ состояніи имъ сообщить. Это преобразование работы позволяетъ человеку производить *большее скорѣе и дешевле*, нежели то возможно безъ помощи машины.

**3 Двигатели и ихъ источники** Къ двигателямъ, которыми наиболѣе пользуются въ промышленности, принадлежатъ *мускульная сила людей и животныхъ* (живые двигатели), *живая сила ветра, тяжести, прироста, пружины, живая сила течения или движущей воды, прироста солнца, прироста, нагрѣтую или сжатую воздухъ и др.* и т. д., *электричество*.

Всѣ эти двигатели имѣютъ общимъ источникомъ *лучистую энергію солнца* и представляютъ лишь ея различныя формы. Чтобы убѣдиться въ этомъ, рассмотримъ соответственныя энергіи, служащія двигателями.

Къ *потенціальнымъ энергіямъ*, достаемымъ природою, принадлежатъ:

1) *Энергія топлива*, проявляющаяся въ *термическихъ* машинахъ въ видѣ *упругости* водяныхъ паровъ, нагрѣтаго воздуха..

Сжигая топливо, т. е. заставляя его соединяться съ кислородомъ воздуха, мы можемъ развить большое количество теплоты, которая преобразуясь въ свою очередь въ энергію молекулярнаго раздѣленія, при нагрѣваніи воды, воздуха.., можетъ служить источникомъ механической силы —упругости паровъ, воздуха—приводящей въ движеніе термическія машины. Топливомъ въ промышленности служатъ дерево, солома, торфъ, лигнитъ, каменный уголь въ различныхъ его видахъ, нефть а также горючіе газы, получаемые при сухой перегонкѣ твердыхъ топливъ. Такъ какъ каменный уголь представляетъ не что иное, какъ остатки древнихъ растительныхъ организмовъ, то мы можемъ сказать, что источникомъ энергіи топлива служитъ лучистая энергія солнца.

2) *Энергія муску*, проявляющаяся въ животныхъ организмахъ въ видѣ *мускульной силы*.



Энергія пищи аналогична энергіи топлива. Принятіемъ пищи въ организмъ вводятся углеродъ и водородъ, главныя окисляющіяся составныя части ея, которыя сгораютъ въ организмъ на счетъ кислорода вдыхаемаго воздуха, превращаясь въ угольную кислоту и въ пары воды. При этомъ химическая энергія пищи преобразуется въ тепловую энергію (*животная теплота*) и въ энергію видимаго движенія (мышечныя сокращенія). Такимъ образомъ, животный организмъ представляетъ въ вѣкоторомъ родѣ термическую машину: какъ тотъ, такъ и другая требуютъ питанія и въ обоихъ происходитъ превращеніе химической энергіи, заключающейся въ пищѣ и топливѣ, въ энергію теплоты и видимаго движенія. Пища можетъ быть растительнаго и животнаго происхожденія. Такъ какъ послѣдняя представляетъ растительную пищу, которая прошла раньше черезъ организмъ животнаго, то ясно, что источникомъ энергіи пищи, какъ и энергіи топлива, служатъ лучистая энергія солнца.

Къ *кинетическимъ энергіямъ* доставляемымъ природою, отпослется:

3) *Энергія вѣтра*. Движущійся воздухъ обладаетъ кинетическою энергіею, которою и пользуются для движенія парусныхъ судовъ и вѣтряныхъ мельницъ. Источникомъ энергіи вѣтра служитъ также лучистая энергія солнца, нагревающая земную поверхность. Происходящее при этомъ нагреваніи неравномерное распредѣленіе температуры въ массѣ воздуха производить вѣтеръ.

4) *Энергія снѣжающей воды*. Дѣйствіемъ нагреванія лучами солнца земной поверхности поднимается огромное количество воды въ видѣ паровъ на значительную высоту (лучистая энергія солнца преобразуется въ потенциальную энергію облаковъ), откуда вода обратно падаетъ на землю въ видѣ дождя, снѣга и т. п. (потенциальная энергія облаковъ переходитъ въ видимую энергію), образуящихъ на земной поверхности ручьи, рѣки, потоки, энергіею которыхъ пользуются для дѣйствія водяныхъ колесъ.

И такъ, кѣ естественныя энергіи <sup>1)</sup>, за исключеніемъ энергіи морскихъ приливовъ и отливовъ <sup>2)</sup>, а также незначительнаго количества энергіи, которая содержится въ самородной сѣрѣ и маломъ количествѣ жѣлезья, имѣютъ своимъ источникомъ лучистую энергію солнца; слѣд. *все двигатели, которыми пользуются въ промышленности, происходятъ не что иное, какъ лучистую энергію солнца, проявляющуюся въ той или другой формѣ.*

<sup>1)</sup> Въ перечисленныхъ выше естественныя энергіи принадлежатъ къ числу такъ называемыхъ двигателей, представляющихъ самостоятельный источникъ мѣхъ работы, если не принимать въ соображеніе ихъ общаго первоначальнаго источника — лучи той энергіи солнца. Что же касается *теплоты, электричества и магнетизма*, то онѣ представляютъ *вторичные двигатели*, работа которыхъ имѣетъ источникомъ единъ изъ первичныхъ двигателей.

<sup>2)</sup> Главная причина, производящая въ открытыхъ моряхъ и океанахъ безпрерывныя перемѣщенія огромныхъ массъ воды, называемыхъ *приливами и отливами*, есть притяженіе ихъ къ землѣ и къ ближайшему небесному тѣлу —

**4. Главнѣйшіе органы машинъ.** Во всякой машинѣ различаютъ слѣдующія части:

1) *приемникъ*, т. е. часть, на которую непосредственно дѣйствуетъ *одинатель*. Устройство приемниковъ весьма разнообразно, въ зависимости отъ свойствъ двигателя. Сюда относятся: крылья вѣтряной мельницы, лопатки водянаго колеса, поршень паровой машины, рукоятка ворота и т. п.

2) *исполнительный механизмъ* или *орудіе*, т. е. органъ, на который непосредственно дѣйствуетъ *полезное сопротивление*. Эта часть, дѣйствуя на обрабатываемое тѣло, исполняетъ ту работу, для которой машина назначена: поэтому устройство ея зависитъ какъ отъ свойствъ обрабатываемыхъ тѣлъ, такъ и отъ качества исполняемой работы. Примеры исполнительныхъ механизмовъ представляютъ часовая стрѣлка, рѣзцы строгальныхъ, токарныхъ и др. станковъ, пила въ лесопильной машинѣ, жернова въ мукомольной мельницѣ и т. п.

3) *передающие механизмы* или *приводы*, т. е. органы, служащіе для передачи движенія отъ приемника орудію. Они имѣютъ по большей части вращательное движеніе (валы, колеса, шкивы) и остаются одни и тѣ же въ различныхъ машинахъ; но сочетанія ихъ измѣняются сообразно съ пространствомъ, отдѣляющимъ приемникъ отъ орудія, а также съ тѣмъ условіемъ, чтобы движеніе приемника было *преобразовано* въ такое движеніе орудія, какое необходимо для достиженія цѣли машины.

4) механизмы, служащіе для *регулированія* хода машинъ (маховыя колеса, регуляторы и пр.).

5) части, служащія для *поддержки* всей системы (стапина и фундаментъ).

Въ машинахъ простѣйшаго устройства нѣкоторые изъ органовъ играютъ одновременно роль приемника и орудія или передаточнаго механизма. напримеръ, въ ломѣ тотъ конецъ, за который рабочій держитъ рукою, при поднятіи тяжести, будетъ приемникомъ, орудіемъ — противоположный конецъ, а приводомъ — промежуточная часть.

Наоборотъ, цѣлая машина по отношенію къ фабрикѣ или заводу можетъ имѣть значеніе только одной части — приемника или орудія. Такъ, напр. въ железодѣлательномъ заводѣ, работающемъ водою или паромъ, водяное колесо или паровая машина, приводящая въ движеніе *главный рабочий валъ*, отъ котораго движеніе передается при помощи приводовъ, весьма прокатныхъ машинамъ, играетъ роль приемника, а прокатныя машины роль орудія. По-

лучше, дѣйствующее поперѣкѣ вслѣдствіе вращательнаго движенія земнаго шара (своей оси). При помощи нѣкоторыхъ при пособіи въ приморскихъ мѣстностяхъ поднимаются этими приливами и отливами для движенія водяныхъ мельницъ.

этому первая наз. *машинами-пріемниками* или *машинами-двигателями* (моторами), а вторая *машинами-орудіями* или *рабочими машинами* (станками).

**5. Уравненіе передачи работы машиною.** Во всякой машинѣ кинетическая или потенциальная энергія двигателя преобразуется.

1) *въ работу полезныъ сопротивленій*, представляемыхъ тѣлами всякому пзмѣненію своего вида и положенія. Такъ, напримѣръ, при обработкѣ издѣлій на станкахъ, токарномъ, строгальномъ и др.; при распиливаніи бревна, при разломѣ зерна и т. п. работа двигателя расходуется на преолютніе спѣленія молекулъ при подъемѣ грузовъ подъемною машиною, или воды — насосами, происходитъ преобразование энергіи двигателя въ потенциальную энергію груза и т. д.

2) *въ работу вѣса частей машины*, дѣйствующаго при поднятій или центра тяжести какъ сопротивление, и при опусканіи — какъ движущая сила. Въ первомъ случаѣ часть энергіи двигателя преобразуется въ потенциальную энергію вѣса частей машины, во второмъ — потенциальная энергія вѣса частей преобразуется въ кинетическую энергію. Но ни въ какой машинѣ ц. тяжести не можетъ неопредѣленно только подниматься, или же только опускаться, слѣд. должно допустить, что измѣняемость положенія ц. тяжести будетъ *періодическая, т. е. и. тяжести будетъ то подниматься, то опускаться*. Если общій центръ тяжести частей поднимается и опускается во все время движенія на одну и ту же высоту, то окончательно никакой затраты энергіи двигателя на работу вѣса частей машины не произойдетъ, ибо часть энергіи, затраченная на поднятіе ц. т. машины, возвращается для дѣйствія машины въ видѣ кинетической энергіи опускающагося вѣса.

3) *въ живую силу движущихся частей машины*. Если скорость машины *увеличивается*, то часть энергіи двигателя затрачивается на увеличеніе живой силы машины. Если затѣмъ скорость начнетъ *уменьшаться*, то часть живой силы машины преобразуется въ работу полезныъ и бесполезныъ сопротивленій. Такимъ образомъ, энергія двигателя, затраченная на увеличеніе живой силы машины, не теряется вполне для ея дѣйствія, но сохраняется ею въ видѣ живой силы и возвращается при удобномъ случаѣ для дѣйствія машины. Такъ, напр., когда двигатель прекращаетъ свое дѣйствіе, то въ которое время машина еще будетъ работать, т. е. будетъ побѣждать полезныя и бесполезныя сопротивленія, причемъ будетъ расходоваться та работа, которая была заключена въ массѣ органа въ видѣ живой силы когда этотъ органъ работы весь израсходуется, машина остановится. Наконецъ, *въ случаѣ равномернаго движенія* машины не произойдетъ вовсе перехода энергіи двигателя въ живую силу машины (за исключеніемъ періода пуска и ея въ ходъ).



4) *въ живую силу частицъ тѣлъ, входящихъ въ составъ машины, или въ молекулярную энергію* (звуковую, тепловую, электрическую и пр.) Этотъ переходъ части энергіи двигателя въ молекулярную энергію обуславливается существованіемъ бесполезныхъ сопротивленій—тренія и ударовъ въ точкахъ прикосновенія тѣлъ. Въ противоположность видимой, невидимая живая сила не можетъ быть ни въ какой машинѣ вполнѣ преобразована обратно въ работу колебанія частицъ и теплота мало по малу передается фундаменту землѣ, окружающему воздуху.

Наконецъ, что касается внутреннихъ или частичныхъ силъ, обнаруживающихся при всякомъ измѣненіи формы тѣлъ, то, такъ какъ измѣненія формы правильно рассчитанныхъ частей машины всегда весьма незначительны, то можно принять, что запасъ работы частичныхъ силъ остается неизмѣннымъ во все время движенія.

Нанишемъ теперь уравненіе живой силы въ примѣненіи къ машинѣ. Пусть  $s$  и  $v$  будутъ начальная и конечная скорости какой-либо частицы машины, соответствующихъ моментамъ  $t_1$  и  $t_2$ , и  $m$ —масса ея. Тогда приращеніе живой силы для всей машины въ теченіе времени  $t = t_2 - t_1$  выразится  $\sum \frac{m}{2} (v^2 - s^2)$ . Обозначимъ буквами  $T_m$ —работу двигателя, затраченную на движеніе машины въ разсматриваемый промежутокъ времени,  $T_0$ —работу полезныхъ сопротивленій,  $T_1$ —часть работы двигателя, преобразованную въ молекулярную энергію въ теченіе того же промежутка времени (*работу бесполезныхъ сопротивленій*), и, наконецъ,  $PH$ —работу всѣхъ поднимающихся, то опускающихся частей машины ( $P$ —общій вѣсъ этихъ частей,  $H$ —высота, на которую поднялся или опустился ихъ общій ц. тяжести). Искомое уравненіе будетъ: <sup>1)</sup>

$$T_m - T_0 \mp PH - T_1 = \sum \frac{m}{2} (v^2 - s^2) \quad (1)$$

Это уравненіе выражаетъ законъ передачи работы двигателя, а потому и наз. *уравненіемъ передачи работы*.

Изъ него видно, что работа, идущая на побѣжденіе полезныхъ сопротивленій, составляетъ часть работы, доставляемой двигателемъ, осталая часть энергіи двигателя поглощается бесполезными сопротивленіями.

*Примѣчаніе* Такъ какъ части машины соединены между собою опредѣленнымъ образомъ, допускающимъ только одно извѣстное движеніе, то одного ур. (1) достаточно для опредѣленія движенія всей системы, ибо по скорости одной точки можно найти скорости всѣхъ остальныхъ (§ 1).

**6. Условія наивыгоднѣйшей передачи работы двигателя. Выгоды равномернаго движенія машинъ.** Часть работы двига-

<sup>1)</sup> Учебникъ механики автора, 1888 г. 3-е изданіе

теля, идущая на преодоленіе полезныхъ сопротивленій, носить названіе *полезной работы* <sup>1)</sup> или *полезного дѣйствія* машины; величина ея равна.

$$T = T_m - T_f + P_H = \sum \frac{m}{2} (v^2 - v'^2) \quad (2)$$

Понятно, чѣмъ больше выходитъ *полезная работа*, тѣмъ лучше дѣйствуетъ машина. тѣмъ выгоднѣе передача работы двигателя. Для опредѣленія условий наивыгоднѣйшей передачи работы машиною рассмотримъ вліяніе каждаго члена ур (2) на величину полезной работы  $T_0$ .

Начнемъ съ энергіи двигателя  $T_m$ . Изъ ур (2) видно, что чѣмъ больше эта работа, тѣмъ больше полезное дѣйствіе, при другихъ равныхъ условіяхъ. Поэтому необходимо стараться, чтобы двигатель доставлялъ наибольшую возможную работу, применяя средства о которыхъ будетъ сказано далѣе.

Но при данной работѣ двигателя полезная работа будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше членъ  $T_f$  ибо работа двигателя, затраченная на молекулярныя энергіи, теряется для дѣйствія машины вполнѣ и безвозвратно. Поэтому должно стараться уменьшать, по возможности, работу вредныхъ сопротивленій. Уменьшеніе потери работы, происходящей отъ *тренія*, достигается соответствующимъ выборомъ материала трущихся частей, возможно лучшею отдѣлкою ихъ поверхностей соприкасавія и употребленіемъ жирныхъ смазокъ, а также уменьшеніемъ вѣса трущихся частей и діаметра осей вращенія. Но переходя однако предѣлы, допускаемаго условіями прочности. Быстроработающія части стараются располагать такъ, чтобы центробѣжная сила ихъ, отъ которой зависитъ давленіе на ось, имѣла наименьшую величину съ этою цѣлю стараются возможно лучше *интегрировать* ихъ, т. е. располагать и, сгруппировать ихъ по возможности ближе къ оси. Сбереженіе работы, поглощаемой *сопротивленіемъ среды* (воды или воздуха), достигается уменьшеніемъ, насколько это возможно, скорости движенія, галъ, какъ это сопротивленіе пропорционально квадрату скорости, а также сообщеніемъ движущимся частямъ надлежащей формы. Наконецъ, для уменьшенія потери работы двигателя, происходящей отъ *ударовъ* должно избѣгать быстрыхъ перемѣнъ скоростей, сопровождаемыхъ всегда ударами вредное вліяніе этихъ перемѣнъ тѣмъ слабѣе чѣмъ меньше скорости (вліянія *сдѣд.* и въ этомъ отношеніи полезно по возможности, уменьшать скорость движенія. Если въ машинѣ есть части, имѣющія попеременное движеніе, то, во избѣжаніе

<sup>1)</sup> Въ отнеленіи машинъ-двигателей, напр., водяного колеса, и ровныя машины показало работою изъ та работа которую приемникъ передаетъ исполнительнымъ механизмамъ.

ударовъ. геометрическая связь частей должна быть такого рода, чтобы скорость ихъ постепенно уменьшалась до нуля къ тому моменту, когда должно измѣниться направление движенія.

Что касается члена  $\pm RII$ , то мы уже видѣли (§ 5), что въ окончательномъ результатѣ онъ не имѣетъ вліянія на полезную работу. Но во время хода машины, вліяніемъ вѣса частей, энергія двигателя будетъ периодически то увеличиваться, то уменьшаться, послѣдствіе чего скорость движенія будетъ измѣняться, а это, какъ увидимъ ниже, не должно быть допускаемо. Замѣняя, гдѣ возможно, попеременное движеніе непрерывнымъ вращательнымъ, или употребляя противовѣсы, при помощи которыхъ ц. тяжести частей машины удерживается на одной высотѣ, уничтожаютъ вліяніе вѣса этихъ частей на ея движеніе.

Наконецъ, послѣдній членъ  $\frac{1}{2} \sum m (v^2 - c^2)$  выражаетъ вліяніе живой силы движущихся частей машины на величину полезной работы. Подобно вѣсу частей, измѣненіе живой силы въ окончательномъ результатѣ не имѣетъ вліянія на полезную работу (§ 5) При *равномерномъ* же движеніи машины ( $v = c$ ) этотъ членъ исчезаетъ, подобно члену  $\pm RII$ , изъ ур. (1) Тогда будемъ имѣть.

$$T_m = T_n + T_r \dots \dots (3)$$

т. е. при равномерномъ ходѣ машины *работа двигателя равна суммѣ работъ всѣхъ сопротивленій*. Тоже самое будетъ при *периодическомъ* движеніи для каждаго періода. При всякомъ нарушении равенства работъ двигателя и сопротивленій движеніе машины становится *неравномернымъ*.

**7. Выгоды равномернаго движенія машинъ. Наивыгоднѣйшая скорость** Изъ всего вышесказаннаго видно, что для наивыгоднѣйшаго пользованія машинкою движеніе ея должно быть *равномерное*, ибо при такомъ движеніи соприкасающіяся части не будутъ испытывать внезапныхъ измѣненій скорости, т. е. ударовъ и сотрясеній и, слѣд., машина будетъ служить дольше безъ порчи. Съ другой стороны, опыты показываютъ, что во всякомъ производствѣ для совершенства вырабатываемыхъ вещей необходимо, чтобы исполнительный механизмъ обладалъ опредѣленною скоростью, зависящею отъ свойствъ обрабатываемыхъ материаловъ и соотвѣствующую наилучшему качеству и наибольшему количеству получаемыхъ продуктовъ. Следовательно, для наилучшей усиліиной обработки, движеніе исполнительнаго механизма должно быть равномерное.

Наконецъ, замѣнимъ, что при томъ же количествѣ полезной работы, части машины, въ случаѣ перемѣннаго движенія, выдерживаютъ большія усилія, нежели въ случаѣ равномернаго движенія, а какъ части машины должны быть рассчитаны по наибольшимъ дѣйствующимъ усиліямъ, то понятно, что при неравномер-



номъ движеніи машины части ея потребуютъ болѣе солидныхъ размѣровъ, вследствие чего увеличится вѣсъ ихъ, а вмѣстѣ съ нимъ и безполезныя сопротивленія.

Такимъ образомъ, мы приходимъ къ общему выводу, что *равномерность* движенія составляетъ существенно важное условіе наиболѣе выгоднаго пользованія машиною. Что касается величины скорости этого движенія, то она должна соответствовать наиболѣе полезной работѣ ( $T_{\text{max}}$ ) и наз. *начальной* или *нормальной* скоростью машины. Величина ея опредѣляется теоретическимъ или опытнымъ путемъ и, какъ увидимъ, неодинакова для различныхъ приемниковъ.

**8. Причины неравномерности движенія машинъ** Въ действительности, однако, машины весьма рѣдко имѣютъ равномерное движеніе. Главныя причины неравномерности хода заключаются въ измѣяемости движущаго усилія или полезнаго сопротивленія или и того и другаго вмѣстѣ. Такъ, напримѣръ, вѣт машины, приводимыя въ движеніе силою животныхъ, силою вѣтра или пара, переѣзженныхъ по своей природѣ, не могутъ имѣть равномернаго движенія, вследствие измѣяемости движущаго усилія. Въ мукомольныхъ мельницахъ никогда нельзя достигнуть совершенно равномерной заправки зерна въ жернова, вследствие чего сопротивленіе раздробленію будетъ то больше, то меньше точно также сопротивленіе расщепленію бревна измѣняется вследствие неоднороднаго строенія дерева и неправильно разбросанныхъ сучковъ. Вѣт эти машины даже будучи приведены въ движеніе постояннымъ двигателемъ, какъ вода, не могутъ имѣть равномернаго хода.

Сверхъ того на неравномерности хода машины можетъ имѣть вліяніе вѣсъ движущихся частей, если центръ тяжести машины не остается постоянно въ одной и той же горизонтальной плоскости. Наконецъ, попеременные движенія частей машины могутъ также служить причиною неравномерности ея хода.

**9. Уравнители движенія.** И такъ, одною изъ существенно важныхъ задачъ при построеніи машины должно быть изысканіе условій и средствъ, обеспечивающихъ равномерность ея хода или, по крайней мѣрѣ, не допускающихъ скорость машины уклоняться отъ ея наиболѣе выгоднаго значенія дальше известнаго предѣла. Для этого, какъ было уже указано въ § 6, надо употреблять, если это возможно, для передачи движенія только механизмы съ непрерывнымъ вращательнымъ движеніемъ: колеса должны быть хорошо центрированы, иначе центръ тяжести ихъ будетъ то подниматься, то опускаться, а потому будетъ измѣняться и скорость движенія машины.

Въ большинствѣ случаевъ указанныхъ средствъ далеко не достаточно для достиженія равномерности хода машины, а потому при машинахъ устриваются особые механизмы, имѣющіе дѣлю

приблизить существующее движение машины къ равномерному или, какъ говорятъ, *регулировать* ея движение. Эти механизмы наз *уравнителями* движения, къ нимъ относятся: маховыя колеса, регуляторы, модераторы. При помощи этихъ механизмовъ варьирование скорости машины можетъ быть ограничено весьма тѣсными предѣлами.

**10. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины** Каково бы ни было движение машины, работа двигателя для періода времени отъ начала хода ея до остановки, равна суммѣ работъ всѣхъ сопротивленій, т. е:

$$T_m = T_v + T_r.$$

ибо работа двигателя, затраченная на увеличение живой силы машины, возвратится окончательно для дѣйствія машины, когда прекратится работа двигателя, точно также работа, затраченная на поднятие центра тяжести, возвратится при его опусканіи.

Отношеніе  $\frac{T_v}{T_m}$  полезнаго дѣйствія къ валовой работѣ двигателя, носитъ названіе *коэффициента полезнаго дѣйствія* машины, который мы будемъ обозначать буквою  $\mu$ . Изъ предыдущаго ур находимъ

$$\mu = 1 - \frac{T_r}{T_m} \quad (1)$$

Откуда видно, что коэфф. полезнаго дѣйствія всегда меньше 1, ибо работа вредныхъ сопротивленій хотя можетъ быть уменьшена, но нулемъ никогда не можетъ быть. Повидно, чѣмъ этотъ коэфф ближе къ 1, т. е. чѣмъ большая часть работы двигателя преобразуется въ полезное дѣйствіе, тѣмъ съ большею выгодною мы пользуемся машиною, тѣмъ она совершеннѣе. Поэтому при построеніи машинъ существенно важною задачею должно быть повышение по возможности коэфф полезнаго дѣйствія, служащаго мѣрою ихъ достоинства, средствами, о которыхъ было сказано въ § 6.

Коэфф. полезнаго дѣйствія выражается обыкновенно въ *процентахъ валовой работы двигателя*. Въ существующихъ машинахъ онъ измѣняется въ предѣлахъ отъ 0.30 до 0.80 или отъ 30% до 80%. Машины съ коэфф полезнаго дѣйствія  $\leq 0.50$  считаются посредственными, а отъ 0.50 до 0.65—хорошими. Высшій коэфф полезнаго дѣйствія встрѣчается весьма рѣдко—въ машинахъ совершенной конструкции, тщательной отделки и при хорошемъ уходѣ за ними.

**11. Невозможность построенія вѣчнаго двигателя** (*perpetuum mobile*). Подъ этимъ названіемъ разумѣютъ такую машину, которая, будучи разъ приведена въ движеніе, не только могла бы

двигаться только сама собою, без всякаго новаго содѣйствія двигателя, но и была бы способна производить полезную работу, исключительно *тѣмъ* землѣ собственнаго вѣса частей машины, требуя издержекъ только на одинъ ремонтъ<sup>1)</sup>.

Чтобы выяснить невозможность построения *perpetuum mobile* рассмотримъ движеніе машинъ въ самомъ *благопріятномъ* случаѣ, когда она добитъ *порожнемъ*, не производя полезной работы. Понятно, что движеніе такой машины можетъ быть или *равномернымъ* или *периодическимъ*, ибо центръ тяжести ея не можетъ вѣроятно подниматься или опускаться. Предполагая, что ур. (1) написано для такой машины и при томъ для цѣлаго періода, мы должны положить въ немъ  $H = 0$ ,  $v = c$ ,  $T_m = 0$  и  $T_c = 0$ , а тогда получимъ  $T_r = 0$ , что невозможно, ибо вредныя сопротивленія уничтожены быть не могутъ, работа ихъ поглотить часть живой силы машины, вследствие чего скорость ея съ теченіемъ времени будетъ все уменьшаться и наконецъ рано или поздно обратится въ нуль, машина остановится. При участіи полезныхъ сопротивленій этотъ моментъ наступитъ, конечно, еще скорѣе.

<sup>1)</sup> До изобрѣтенія паровыхъ машинъ единственными двигателями служили люди, животные вода и вѣтеръ. Но одѣржаніе людей и животныхъ требовало большихъ издержекъ а вода и вѣтеръ, хотя и представляютъ даровые двигатели, но могутъ быть употреблены только при пѣвѣстныхъ мѣстахъ условіяхъ, а послѣдній сверхъ того по причинѣ несправильности своего дѣйствія, можетъ служить лишь для такихъ работъ гдѣ эта несправильность не имѣетъ большого значенія, какъ наир. для размала зерна на вѣтряныхъ мельницахъ. Изобрѣтеніе паровыхъ машинъ дало большое развитіе промышленности доставивъ возможность имѣть повсюду двигатели произвольной силы. Однако употребленіе такихъ машинъ требуетъ такихъ безпрѣрывныхъ издержекъ, хотя сравнительно и меньшихъ, нежели живые двигатели. Задумавъ о *perpetuum mobile*, появившіеся задолго до паровыхъ машинъ, въ эпоху быстрыхъ успѣховъ практической механики (16—17 в.), состояли въ стремленіи устроить машину, которая она служила сама для себя двигателемъ, т. е. устроили машину въ устройствѣ которой достигалось бы то же глѣвъ, что и при посредствѣ паровой машины, но которая требовала бы издержекъ только на одинъ ея ремонтъ. Несомнѣнно изобрѣтеніе такой машины могло бы имѣть чрезвычайно важное практическое значеніе и могло бы оостинить мечу изъ развитія промышленности, еслибы оно было возможно, но такое открытіе безуспѣшно, какъ и притязанія на такую машину. И дѣйствительно всѣ изысканія изобрѣтателей *perpetuum mobile* были до сихъ поръ (и, безъ сомнѣнія, будутъ) вполнѣ безуспѣшны.



# I.

## ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ.

(Прикладная кинематика).

**12. Классификація приводовъ** Части машинъ имѣютъ двоякаго рода движеніе: *прямолинейное поступательное* и *вращательное*. Эти движенія могутъ быть *непрерывными*, если они совершаются постоянно въ одну сторону, и *возвратныя* или *качательныя*, если они совершаются попеременно до въ одну, то въ другую сторону. Существуютъ еще такъ наз. *прерывающіяся* движенія, т. е. съ остановками, но оно встрѣчается рѣдко. Чаще всего машины имѣютъ слѣдующія движенія: *прямолинейное возвратное* и *вращательное непрерывное* или *возвратное*. Поэтому мы ограничимся изученіемъ наиболее употребительныхъ механизмовъ, служащихъ для передачи и взаимнаго преобразованія этихъ трехъ видовъ движенія.

По общепринятой системѣ, предложенной авгл. ученымъ Робертомъ Уиллисомъ <sup>1)</sup> все передачныя механизмы дѣлятся, по способу передачи движенія, на три группы въ первой группѣ относятся механизмы, передающие движеніе при помощи *тѣлѣтъ тѣлъ*; ко второй — *многочисленнымъ прикосновенимъ*, и къ третьей — *помощью промежуточныхъ твердыхъ тѣлъ*.

*Примѣчаніе* Способы передачи на слески жесткими при помощи *сжатыхъ жидкостей* (пневматики), *сжатыхъ и жидкостей* (гидравлики) и передачи, по причинѣ сложности устройства, принадлежатъ къ другимъ классамъ, а именно, къ разпространеннымъ жидк. приводамъ и передачамъ. Гидравлическіе же передачи, безъ исключенія, имѣютъ исключительно въ устройствѣ гидравлическіе процессы и гидравлическіе элементы.

<sup>1)</sup> R. Willis. Principles of mechanisms. 1841

# ГЛАВА I.

## Передача движѣнія при помощи гибкихъ тѣлъ.

Назначеніе и общее устройство гибкихъ приводовъ. Основной законъ передачи гибкими приводами. Валы и ихъ части. Подшипники и подшипники — Соединительныя муфты — Ременная передача кожаная и каучуковая ремни. Натяжной блокъ. Общія условія ременной передачи. Изгибашіе блоки. Двухъ-тѣлшквивъ — Ступенчатые шкивы. Передача вращенія цепьювыми и проводочными канатами и цѣпями. — Задачи

**13. Назначеніе и общее устройство гибкихъ приводовъ.** Гибкіе приводы употребляются для передачи (*трансмисси*) вращательнаго движѣнія между двумя *валами*, преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда разстояніе между ними весьма значительно.

Приводъ состоитъ изъ двухъ колесъ, насаженныхъ на валы, между которыми устраивается передача, и соединенныхъ между собою какимъ-либо гибкимъ тѣломъ (*бесконечнымъ ремнемъ, канатомъ или цепью*). Такие колеса, охваченныя бесконечнымъ ремнемъ или канатомъ, наз. *шкивами*. При известной натянутости ремня или каната, огибающаго обоѣхъ шкивовъ, между ними гибкимъ и шкивомъ развивается значительное сцепленіе, не дозволяющее первому соскользнуть по поверхности ободковъ, такъ что при вращеніи одного шкива ремень или канатъ заставитъ вращаться и другой шкивъ. Шкивъ, передающій движѣніе, наз. *водитимымъ*; шкивъ, принимающій движѣніе отъ ведущаго, наз. *рабочимъ*.

**14. Основной законъ передачи гибкими приводами.** Если при вращеніи шкивовъ гибкія тѣла не *соскользнутъ* по ихъ ободкамъ, т. е. точки окружности обоихъ шкивовъ проходятъ пути, равные пути, проходимымъ точками гибкаго привода, то скорости точекъ послѣдняго равны скорости на окружности обоихъ шкивовъ; слѣд., скорость на окружности обоихъ шкивовъ одинакова. Называя эту общую скорость шкивовъ А и В (фиг. 1) буквою  $v$ , а буквами  $\omega_1, r_1, \omega_2, r_2$  ихъ угловыя скорости и радиусы, будемъ имѣть  $v = \omega_1 r_1$  и  $v = \omega_2 r_2$ , откуда  $\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$ , или

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = k \dots \dots (5)$$

т. е. *угловыя скорости шкивовъ обратно-пропорциональны ихъ радиусамъ*.

Такъ какъ угловыя скорости пропорциональны числамъ оборотовъ, то, называя числа оборотовъ шкивовъ А и В буквами  $n_1$  и  $n_2$ , получимъ другое выраженіе найденнаго закона

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} = k \dots \dots (6)$$

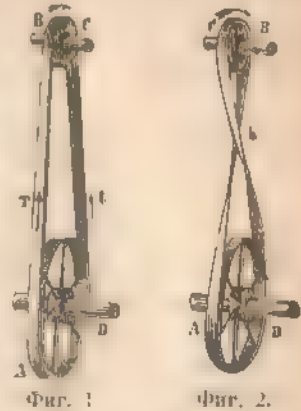
т. е. числа оборотов шкивов обратнопропорциональны их радиусам. Отношение  $\lambda$  числа оборотов малого шкива къ числу оборотов большаго носитъ названіе *передаточнаго числа*.

При устройствѣ гибкаго привода радиусъ одного изъ шкивовъ выбирается произвольно, радиусъ же другаго шкива долженъ быть опредѣленъ при данномъ передаточномъ числѣ по формулѣ (6).

Что касается направленія вращенія рабочаго шкива, то оно зависитъ отъ расположенія гибкаго привода: оба шкива будутъ вращаться въ одну сторону, когда приводъ *открытый*, т. е. когда онъ идетъ по наружнымъ касательнымъ, какъ на фиг. 1; шкивы будутъ вращаться въ разныя стороны, когда приводъ *перекрестный*, т. е. когда онъ идетъ по внутреннимъ касательнымъ, какъ на фиг. 2.

**15. Валы и ихъ части** Валы раздѣляются, по положенію геометрической оси, на *горизонтальныя* и *вертикальныя*. въ рѣдкихъ случаяхъ валы устанавливаются наклонно.

Валь заканчивается двумя *цанфами* или *шпанами* А (фиг. 3), имѣющими обыкновенно форму пикировъ, нѣсколько меньшаго диаметра, нежели валь; послѣдній утверждается цанфами въ особыя опоры, носящія общее названіе *подшипниковъ*. Если шпиль помѣщенъ не на концѣ вала, а гдѣ либо посрединѣ, то онъ получаетъ названіе *шайки* (В, фиг. 1). Часть вала, на которую насаживается колесо, назъ *шпонокъ* вала (Г, фиг. 1), и, если мѣстѣ валь утолщается настолько, сколько этого требуетъ устройство паза для *шпошки* Г, при помощи которой удерживается колесо на валу. Для устраненія продольныхъ перемещеній



Фиг. 1.

Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

вала въ подшипникахъ, цанфы снабжаются такъ назъ *защелками* В и С (фиг. 4), иногда довольствуются только одною защелкою В.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда валь выдерживаетъ незначительныя усилія, цанфамъ придаютъ остроконечную форму, для уменьшенія работы тренія. Подобную форму имѣютъ, напр., цанфы вала (шпиль-



деля) токарного станка (фиг. 5). Валъ А оканчивается конусомъ В, въ которомъ заклинивается хвостъ цапфы С. Цапфа упирается остриемъ С въ неподвижную стѣнку, въ которую она углубляется лишь небольшою своею частью. Иногда, впрочемъ довольно рѣдко, цапфамъ придаютъ шаровую форму.



Фиг. 5.

Вертикальные валы въ верхней части оканчиваются цапфой, которая вращается въ подшипникъ, а въ нижней части —

пята В (фиг. 6), подшипникъ, въ которомъ утверждается пята, носятъ названіе *подшипника* или *пятника*. Пята обыкновенно составляетъ одно цѣлое съ валомъ, но нерѣдко дѣлается вставною. Вертикальный валъ опирается не только боковою поверхностью пята, но главнымъ образомъ нижнею ея поверхностью, которой придаютъ, для уменьшенія работы тренія, слегка выпуклую форму.



Фиг. 6.

При очень большихъ давленіяхъ на пята, для уменьшенія диаметра послѣдней, устраиваютъ такъ наз. *кольцевую* пята (фиг. 7), при которой давленіе можетъ быть распределено на произвольно большую площадь, помощьюъ кольцевыхъ выступовъ. Такія пята встрѣчаются очень часто въ турбинахъ. Подобными же кольцами снабжаютъ нерѣдко и цапфы, выдерживающія значительныя продольныя давленія (напр. для валовъ винтовыхъ пароходовъ и центробѣжныхъ помпъ).



Фиг. 7.

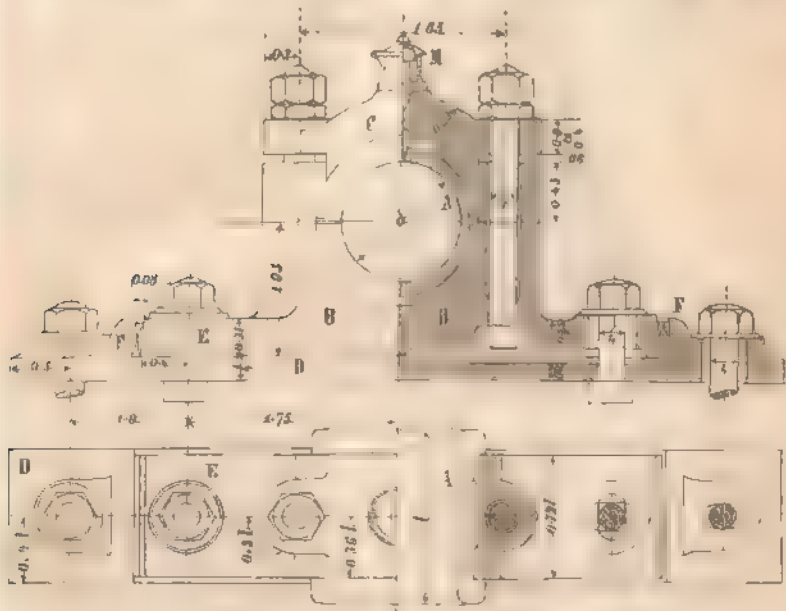
Валы дѣлаются изъ жѣлѣза, стали, чугуна и дерева (дуба и сосны). *Стальные и жѣлезные валы* имѣютъ обыкновенно снѣжное круглое сѣченіе и только въ рѣдкихъ случаяхъ квадратное. *Чугунные валы* дѣлаютъ снѣжные и круглые, круглаго, эллипсообразнаго и крестообразнаго сѣченія. *Деревянные валы* имѣютъ обыкновенно призматическую форму (осемигранную или четырехгранную) съ конусообразными концами. Чугунные и жѣлезные валы составляютъ всегда одно цѣлое съ цапфами. Деревянные валы снабжаются жѣлезными или чугунными цапфами, хвосты которыхъ вставляются въ концы дала, гдѣ упираются по редкостямъ, или въ или болѣе и сверху того для прочности скрѣплены цапфы съ валомъ, на концы послѣдняго накладываютъ въ надрѣзъ со стороны жѣлѣзные хомуты, которые, охладившись, плотно стягиваютъ концы вала.

**16 Подшипники и подпятники.** *Подшипниками* наз. неподвижныя стѣны цапфы, а *подпятниками* — для пята. Они бывають различной формы, особенно съ назначеніемъ дала.

На фиг. 8 представлено *лежащее подшипникъ* (для горизонтальнаго вала) эллипсообразнаго устройства. Онъ состоитъ изъ стѣнующихъ (главнымъ частямъ) и изъ двухъ (иногда болѣе) *вкладышей*

Включины имѣютъ обыкновенно внутри цилиндрическую форму, а снаружи многогранную (на фиг. 8 восьмигранную), рѣже сфери-

Включоны имѣють обыкновенно внутри цилиндрическую форму, а снаружи многогранную (на фиг. 8 восьмигранную), рѣже сфери-



Фиг. 8.

ческую. Для многогранных вкладывшей делается в подшипник соответствующее многогранное же гнездо, čím предупреждается вращение вкладывшей. Для предупреждения сдвигания вкладывшей по оси гнезда они снабжаются закрывками, а для уменьшения поверхности обработки—отливаются снаружи с выемкой.

Вкладыши отливаются из более мягкого металла, нежели цапфа, чаще всего из *бронзы* (18 ч. олова и 82 ч. меди), в последнее время из *фосфористой бронзы*. Вкладыши быстро изнашивающихся цапф часто заливает мягким сплавом — *белым металлом* (8 ч. меди, 80 — олова и 12 — цинка), а также *бabbitом* (3 ч. меди, 7 — антимония и 90 — олова). Иногда вкладыши делают из *бакелита* — с целью замещения обыкновенной смазки маслом — смазкой юного (напр. из турбинах, валах винтовых пароходов).

Корпус подшипника отливается всегда из чугуна и снабжается

лапами ЕЕ, черезъ которыя пропускаются болты аа, служащія для прикрѣпленія подшипника къ фундаментной доскѣ В или прямо къ машинной рамѣ. Иногда тѣло подшипника отливается заодно съ машинною рамою.

Крышка подшипника (чугунная) укрѣпляется къ тѣлу посредствомъ 2 или 4 болтовъ. Для предохраненія этихъ послѣднихъ отъ изгибающихся и скалывающихся частей крышка входитъ своими выступами въ тѣло подшипника. При помощи крышечныхъ болтовъ производится подтягиваніе верхняго вкладыша по мѣрѣ образованія жезора вследствие истиранія. На крышкѣ помещается *маслянка* М, изъ которой смазка <sup>1)</sup> проводится къ цапфѣ помощью фитиля вѣтанцованнаго въ узлы канала, просверленнаго въ крышкѣ и верхнемъ вкладышѣ. Иногда крышка отливается за одно съ корпусомъ.

Фундаментная доска В отливается изъ чугуна и прикрѣпляется къ фундаменту посредствомъ длинныхъ желѣзныхъ болтовъ (*фундаментныхъ*).

При установкѣ подшипниковъ слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы ось вала въ точности совпала съ осью вкладышной вѣтхъ подшипниковъ, его поддерживающихъ. При несомовѣрности этого устоя, движение будетъ передаваться неравномѣрно по всей площади прикосновенія вала къ вкладышамъ, вследствие чего произойдетъ вредное одностороннее истираніе послѣднихъ. Для возможности точной установки подшипниковъ, между лапами ЕЕ и выступами В, Г фундаментной доски оставляется не большой промежутокъ, позволяющій болѣе или менѣе передвиженія подшипника по доскѣ при его установкѣ. Установивъ подшипникъ, забиваютъ эти промежутки клиньями. Съ тою же цѣлю въ доскѣ С дѣлаются для фундаментныхъ болтовъ цѣры продолговатой формы, что позволяетъ перемѣщать нѣсколько разъ подшипникъ по фундаменту.



Фиг. 9.

На фиг. 9 представлено *подшипникъ* (салазки) для быстровращающихся валовъ. Вкладыши (дѣлаются чугунные или желѣзные цапфахъ) значительной длины съ цѣлю протѣриванія скорого изнашивания. Чтобы дать возможность вкладышамъ по пѣкоторой степени приспособляться къ положенію вала, средняя часть ихъ дѣлается (снаружи) лунообразною. Кромѣ крышечной маслянки установлены по концамъ верхняго вкладыша еще двѣ маслянки.

<sup>1)</sup> Для смазыванія цапфъ употребляются *жидкое масло* а) растительнаго — дровянное, льняное и сурьмяное и б) *минеральныя* — карбиды и слѣды получаемыя посредствомъ перетяжки изъ нефтяныхъ остатковъ. Эти масла благодаря дешевизнѣ и отличному смазывающему свойству употребляются въ настоящее время въ обширнѣйш. Изъ *твердыхъ* смазывающихъ веществъ наиболѣе употребляется *сажа* для мазки быстровращающихся машинъ.



иниолненные саломъ. Эти послѣднія начинаютъ смазываніе когда сало растопится вследствие чрезвычнаго нагреванія ( $35^{\circ}\text{C}$ ) вкладышей (по причинѣ недостаточной смазки среднею масляною, наполняемою обыкновенно масломъ). Подъ концами нижняго вкладыша устроены чашки для собиранія отработавшей смазки.

**Поднятникъ** обыкновеннаго устройства (фиг. 10) имѣетъ форму стакана В (чугуннаго), снабженнаго цилиндрическимъ (бронзовымъ) вкладышемъ FG. Въ случаѣ кольцевой пята вкладыши снабжаются соответственными кольцевыми желобками. Дно стакана образуетъ стальная (иногда сакауттовая) подушка Е, на которую опирается пята; подушка удерживается неподвижно штифтомъ а. Поднятникъ прижимается къ своей фундаментной доскѣ А.А болтами С,С, продленными сквозь лапы D.D. болты А.А служатъ для укрѣпленія фундаментной доски къ основанію. Смазка изъ чашки G.G. поступаетъ къ подушкѣ Е посредствомъ вертикальных дорожекъ, сдѣланныхъ во вкладышѣ.



Фиг. 10.

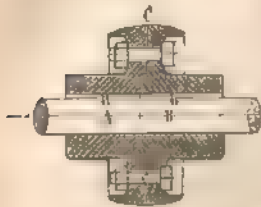
При большихъ давленіяхъ пята на подушку должно быть обращено особое вниманіе на непрерывное смазываніе трущихся частей; устраивая непрерывный токъ масла между трущимися поверхностями, не только уменьшаютъ треніе, но и достигаютъ очищенія трущихся поверхностей отъ стертыхъ частицъ, что предохраняетъ пята и подушку отъ порчи. Самая пята въ такихъ случаяхъ дѣлается вставною, для удобства замѣны пята, пришедшей въ негодность, новою въ некоторыхъ подпятникахъ, для предупрежденія спуска вала съ насаженными на немъ частями (вслѣдствіе негирания), устраиваютъ подъемный винтъ, проходящій черезъ фундаментную доску въ дно подпятника и упирающійся въ подушку Е. Поднимая его, поднимаютъ подушку, пока не уничтожится зазоръ между подушкою и пятою, образовавшійся отъ истиранія.

**17. Соединеніе валовъ.** Длинные передаточные валы состоятъ изъ отдѣльныхъ частей отъ 6 до 9 м. длиной, которыя соединяются между собою помощью *муфтъ*.

На фиг. 11 представлена въ продольномъ разрѣзѣ одна изъ наиболее употребительныхъ *глухихъ муфтъ*. На концахъ А и В

имѣютъ чашки, а въ срединѣ съ *графитомъ* для смазки зубъ въ зубчатыхъ колесахъ. *Валы* применяются для смазки сакауттовыхъ вкладышей, главнымъ образомъ употребляются въ моторскихъ для охлажденія быстровращающихся движущихся частей центръ шкотовыхъ вальцовъ тѣлесныхъ, сверлильныхъ и т. п. станковыхъ).

валовъ укрѣпляютъ помощью шпонокъ а и в чугунныя шайбы с, с, которыя стягиваются плотно болтами с. Сроствъ этотъ не имѣетъ выступающихъ частей и можетъ служить какъ шкивъ для ремня.



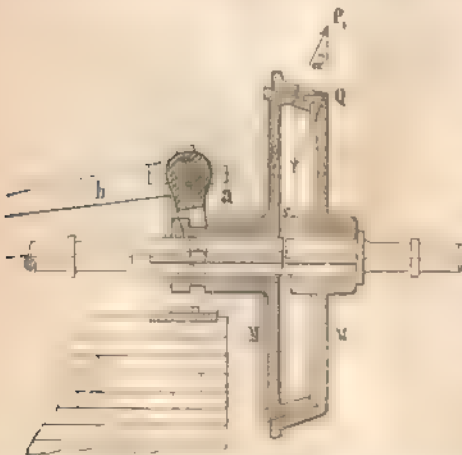
Фиг. 11.

На фиг. 12 изображена раздвижная зубчатая муфта. Она состоитъ изъ двухъ зубчатыхъ дисковъ N и N' заклиненныхъ на концахъ валовъ В и А. Дискъ N можетъ передвигаться вдоль своего вала по шпонкѣ,



Фиг. 12.

которая цѣляется линіею самого диска. Слѣствие и раздѣленіе дисковъ производится помощью рычага F, вращающагося около оси С и снабженнаго выносомъ, которая охватываетъ желобокъ G, выточеннаго на передвижномъ дискѣ N. Зубчатая муфта находитъ большое примѣненіе въ придѣлкахъ машинъ съ. Для удобства сдѣланы при ометромъ вращеніи валовъ на обѣихъ концахъ съ меткими зубцами и прикладываются одна къ другой съ большою точностью. На машинныхъ паровозахъ винтъ соединяется съ валомъ обыкновенно посредствомъ зубчатой муфты, съ тою цѣлью чтобы винтъ, будучи расцѣпленъ, могъ свободно вращаться, когда судно идетъ только на парусахъ.



Фиг. 13

При небольшихъ передаваемыхъ усилахъ соединеніе валовъ можетъ быть произведено помощью коническихъ трущихся муфтъ (фиг. 13), которыя удобны въ томъ отношеніи, что сдѣленіе происходитъ безъ ударовъ. Дискъ M передвижной и можетъ быть болѣе или менѣе нажать (при помощи вилкообразнаго рычага а) на неподвижный дискъ M' для возбужденія надлежащаго между

ними сдѣленія. Всякое случайное и значительное увеличеніе сопротѣвленія заставляетъ диски скользить одинъ по другому, чѣмъ предупреждается порча и поломки въ машинахъ.

**18 Ременная передача.** Шкивы, употребляемые при ременной передачѣ (фиг. 14) строятся почти всегда изъ чугуна и состоятъ изъ *обода, втулки* или *ступицы*, служащей для насаживанія шкива на валъ, на которомъ онъ укрѣпляется посредствомъ шпильки. Ободъ соединяется со ступицею при помощи *спицъ* или *ручекъ*, которыя обыкновенно отличаются за одно съ ободомъ и втулкою и дѣлаются прямыми, но чаще кривыми, для предупрежденія поломки ручекъ у обода, вѣдствие значительныхъ внутреннихъ напряженій, развивающихся при неравнообразномъ охлажденіи обода и спицъ послѣ отливки. *Поверхность обода* шкивовъ дѣлается слегка *выпуклою* для предупрежденія соскакиванія ремня со шкива во время передачи.



Фиг. 14.

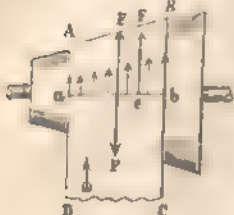
Для возможности насаживанія шкивовъ гдѣ угодно по длинѣ вала ихъ дѣлаютъ вертѣко составными изъ двухъ половинъ, свинчиваемыхъ болтами. Очень большіе шкивы отливаютъ отдѣльными частями, которыя затѣмъ скрѣпляются прочно болтами. Въ послѣднее время въ Америкѣ и Англии стали готовить *железные шкивы*, представляющіе передъ чугунными преимуществами въ отношеніи большей прочности, легкости и безопасности, ибо въ случаѣ разрыва обода, шкивъ не разлетается въ куски, какъ это бывало съ чугуннымъ.

Когда на ремень дѣйствуетъ боковое давленіе, могущее быть причиною соскакиванія ремня (напр. собственный вѣсъ ремня при вертикальныхъ валахъ), то ободы шкивовъ снабжаютъ небольшими закраинами удерживающими ремень на шкивѣ.

Одно изъ главныхъ достоинствъ ременныхъ приводовъ состоитъ изъ сложной передачі движенія, поэтому ихъ особенно удобно ставить при частяхъ машинъ съ неравнообразнымъ ходомъ, сопровождающимся толчками и сотрясеніями.

При установкѣ шкивовъ должно быть обращено вниманіе на тщательное *центрированіе* ихъ: геометрическая ось шкива должна совпадать съ осью вращенія, иначе шкивъ будетъ *бить*, вѣдствие чего натяженіе ремня будетъ періодически мѣняться — обстоятельство, вредно влияющее на его прочность.

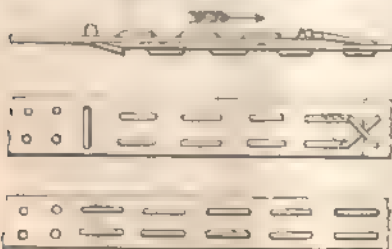
Чтобы объяснить явление ссыкаивания ремня, положим, что ремень надёт на конический барабан (фиг. 15). Волокна ремня, близкие к широкому краю барабана, будут натянуты сильнее, нежели волокна, находящиеся у края  $AD$ , так что систему натяжений, возбужденных в ка-



Фиг. 15.

комъ наборъ стъченъ  $ab$  ремня можно представить рядомъ силъ равномерно возростающихъ отъ края  $A$  къ краю  $B$ :  $cafd$ , равнодѣйствующая этихъ натяжений будетъ приложена не посерединѣ линіи  $ab$ , а ближе къ краю  $BC$ . Пусть эта сила выражается по величинѣ и направленію линіею  $ef$ . Перенесемъ ее параллельно самой себѣ въ середину линіи  $ab$ : тогда получимъ силу  $F$  приложенную къ серединѣ ремня, и пару ( $F, F$ ). Ремень будетъ находиться въ тѣхъ же условияхъ, что и прежде; но теперь ясно, что вълѣдствіе дѣйствія пары ( $F, F$ ) ремень будетъ вращаться и край его  $BC$  будетъ все болѣе и болѣе приближаться къ широкому основанію конуса и наконецъ соскочитъ съ него. Выпуклый ободъ представляетъ случай какъ бы двухъ коническихъ барабановъ, сложенныхъ широкими основаніями. При подобномъ устройствѣ обода ремень будетъ всегда стремиться занять среднюю часть обода и, следовательно, будетъ сохранять правильное положеніе.

**19 Кожаные ремни** приготовляются изъ бычачьей (хребтовой) хорошо выдубленной кожи. Передъ употребленіемъ ремни сушатся и вытягиваются въ течение несколькихъ дней усиленно, въ три или четыре раза болѣе натуго, которое они должны передавать. Сухой ремень во время работы скоро нагрѣвается, перегораетъ и ломается; поэтому ремня должно во время работы (черезъ 2—3 мѣс., смазывать особымъ жирнымъ составомъ \*). Кожаные ремни состоятъ изъ отдѣльныхъ кусковъ. Концы этихъ кусковъ заостряютъ, накладываютъ одинъ на другой, склеиваютъ и зашиваютъ *сшивочными ремешками* (фиг. 16). Концы безконечнаго ремня склеиваютъ ремешками безъ



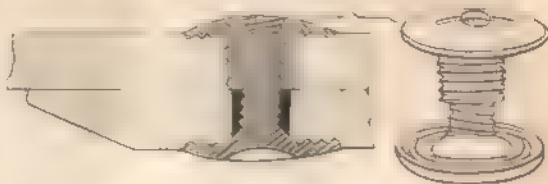
Фиг. 16.

схватываютъ шквы и неправильно передаютъ движеніе. *Длинны и короткие ремни*, изъ наложенныхъ одна на другую, склеенныхъ и шитыхъ вѣдѣтъ полосъ кожи невыгодны по стѣсненію большой ихъ жесткости и скорому изнашиванію. Лучшее средство для этой цѣли состоитъ въ *уплотненіи скоростныхъ ремней*. При значительной скорости широкіе ремни между ними и ободомъ шквы образуются редъ вакуума способствующаго плотному прилеганію ремня къ шкву. Въ *Америкѣ* употребляютъ ремни для передачи до 500 *вар. лоп.* при ширинѣ ремня до 1550 мм и скорости до 30 *м.*

\* Лучшій составъ для этой цѣли 4 ч. норвежн. 2 ч. гарніера и 1 ч. дегтя, употребляютъ его должно въ горячемъ состояніи.



Кромѣ кожаныхъ употребляются также каучуковые ремни (изъ вулканизированнаго каучука — сплавленного съ сѣрою) съ перемежающимися слоями парусины. При одинаковой прочности, послѣдніе дешевле и могутъ имѣть какіе угодно размѣры: въ продажѣ имѣются ремни каучуковые до 90 м. длины, 750 мм. шир. и 13 мм. толщины. Они особенно удобны для сырыхъ помѣщеній.



Фиг. 17.

Грифлерные ремни мало употребительны по причинѣ значительнаго ихъ вытягиванія.

**20. Натяженіе ремня.** Если шкивы не вращаются, то натяженія обѣихъ вѣтвей ремня одинаковы. Когда вращеніи шкивъ В (фиг. 1) начнетъ вращаться въ сторону стрѣлки, то сначала рабочая шкивъ А останется въ покоѣ, послѣдствіе чего *набѣгающая* на шкивъ В вѣтвь растягивается, а *сбѣгающая* нѣсколько ослабѣетъ. При этомъ натяженіе набѣгающей вѣтви увеличится, а сбѣгающей уменьшится противъ первоначальной величины. Назовемъ буквою  $T$  натяженіе первой, а буквою  $t$  натяженіе второй. Моменты ихъ относительно оси В будутъ  $Tr$  и  $tr$ , равнодѣйствующій моментъ  $T - tr$ , сдѣлавъ этотъ приводится во вращеніе силой  $T - t$ . Когда разность  $T - t$  постепенно увеличится, при вращеніи шкива В, получитъ величину, достаточную для преодоленія вѣтви сбѣгающей на шкиву В, то шкивъ А начнетъ вращаться. Если  $P$  есть перѣдаваемое усиліе приложенное къ окружности шкива А и проходящее отъ него движеніе, и  $r$  радиусъ вѣтвей привода, то, на основаніи того, что сказано, можемъ написать:  $P = T - t$ . Но замѣтимъ, что для того, чтобы ремень не соскользнулъ со шкива, между натяженіями  $T$  и  $t$  должно существовать соотношеніе  $T < te^{f\alpha}$  гдѣ  $e$  есть основаніе неперовыхъ логарифмовъ, равное 2,7182818...,  $f$  — коэфф. тренія между ремнемъ и шкивомъ и  $\alpha$  — дуга охваченной ремнемъ дуги, отнесенной къ радиусу  $= 1$ . И такъ:  $P = T \frac{e^{f\alpha} - 1}{e^{f\alpha}}$

будетъ наибольшая разность натяженій, при которой возможна передача движенія ремнемъ, а наибольшая величина работы, которую возможно передать ремнемъ будетъ  $L = Pr = P \frac{2\pi r n}{60} = T \frac{e^{f\alpha} - 1}{e^{f\alpha}} \frac{2\pi r n}{60}$  отсюда

$$T = L \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1} \frac{60}{2\pi r n} \quad (a)$$

Средняя же (первоначальная) натянутость въ покоѣ будетъ  $T_0 = \frac{T + t}{2}$ .

Въ обыкновенныхъ случаяхъ  $\alpha = 0,4\pi$ , а тогда  $e^{f\alpha} = 2,02$ , сдѣд.

$T = P \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1} = 1,98P$ ;  $t = \frac{P}{e^{f\alpha} - 1} = 0,98P$ , или въ круглыхъ числахъ  $T = 2P$ ,  $t = P$  и средняя натянутость  $T_0 = 1,5P$ .

Из равенства (а) видно, что при данных размерах ремня и шкива передаваемая им работа тем больше, чем больше скорость вращения шкива. Поэтому шкивы обыкновенно сажают на быстровращающиеся валы: таким образом получается возможность передавать значительные работы помощью ремней не особенно больших размеров.

Для облегчения вычислений приведем табличку значений величины  $e^{\frac{f\alpha}{2}}$  для случая ремня, переброшенного через чугунные шкивы.

$$\begin{array}{l} \pi = 0,4\pi; 0,6\pi; 0,8\pi; \pi; 1,2\pi; 1,4\pi; 1,6\pi; 1,8\pi. \\ e^{\frac{f\alpha}{2}} = 1,42; 1,69; 2,06; 2,41; 2,87; 3,43; 4,09; 4,87. \end{array}$$

*Примечание 1.* Если углы, охватываемые ремнем на шкивах различны, то в вычислениях надо брать меньший угол, чтобы ремень не скользил по окружности которого либо из них.

*Примечание 2.* На самом деле натяжение набѣгающей ветви больше  $T$ , вычисленная выше, какъ удалось впервые *Данкинъ*, вследствие действия центробѣжной силы (въ особенности при быстровращающихся шкивахъ). Дѣйствие центробѣжной силы вызываетъ значительныя изгибы ремня въ общ., который во набѣгающей разрывѣ, не долженъ имѣть скорости болѣе 30 м. въ сек.

**21. Вліяніе растяженія ремня на передаточное число.** Вѣдѣствіе неодинаковаго натяженія набѣгающей и сбѣгающей ветвей ремня (§ 20) длина  $s_1$  ремня набѣгающей на ведущій шкивъ В (фиг. 1) не равна, какъ мы предполагали, длинѣ  $s_2$  ремня, набѣгающей въ тоже время на рабочий шкивъ А, а нѣсколько больше ея, поэтому *фактическое передаточное число будетъ нѣсколько больше вычисленнаго по формулѣ (6).*

Если  $T$  есть натяженіе набѣгающей ветви, а  $t$  сбѣгающей и  $s$  длина ненапрянутого ремня, соответствующая  $s_1$  и  $s_2$ , то,  $s_1 = s + \alpha l$ , гдѣ  $\alpha$  есть удлинненіе ед. длины ремня при дѣйствіи ед. силы, а  $s_2 = s + \alpha t x t$ . Эти длины  $s_1$  и  $s_2$  представляютъ пути, пройденные ремнемъ въ одно и тоже время на окружности шкивовъ, поэтому на основаніи свойствъ равноярнаго движенія, мы можемъ написать:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_1}{s_2} = \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}, \text{ или } \frac{n_2}{n} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}.$$

Откуда видимъ, что *вслѣдствіе неодинаковаго растяженія ремня уменьшается число оборотовъ рабочаго шкива.*

По опытамъ *Фр. инж. Кретца*, впервые обратившаго вниманіе на это обстоятельство, для новыхъ ремней  $\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t} = 0,975$ , а для старыхъ 0,978, т. е. число оборотовъ рабочаго шкива уменьшается приблизительно на 2%. Хотя это уменьшеніе невелико, однако при передачѣ нѣсколькими ремнями можетъ получиться значительная разниця. Для устраненія этой разницы, выбравъ радіусъ одного шкива и опредѣливъ радіусъ другаго по формулѣ (6) надо увеличить радіусъ ведущаго шкива на 2%.

**22 Натяжной блокъ.** Для придачіи ремню надлежащей натянутой его сшиваютъ нѣсколько короче требуемой длины и за тѣмъ растягиваютъ при нацѣвѣ на шкивы. Но несмотря на предварительное вытягиваніе, ремни въ особенности новые, удлиняясь съ теченіемъ времени, ослабѣваютъ на столько, что дальнѣйшая передача движенія дѣлается невозможною. Поэтому необходимо повременамъ под

тягивать пух, что может быть произведено перешиванием ремня или увеличением расстояния между осями, там, где это возможно, но лучший способ заключается въ устройствѣ такъ наз. *натяжного блока* (фиг. 18). Блокъ В, установленный на концѣ ломаного рычага АСВ, нажимаетъ на ремень дѣйствіемъ противовѣса Q, прикрѣпленнаго къ другому концу рычага. Трение ремня увеличивается при этомъ вслѣдствіе двухъ причинъ: 1) вслѣдствіе увеличенія натяженія ремня и 2) вслѣдствіе увеличенія дугъ, охватываемыхъ ремнемъ. Передвигая противовѣсъ Q вдоль плеча АС рычага, можно имѣть, въ большей или меньшей



Фиг. 18

степени, давленіе блока на ремень. Натяжной блокъ можетъ служить также для остановки шкивовъ, для чего стоитъ только откинуть противовѣсъ Q на неподвижную подпорку и

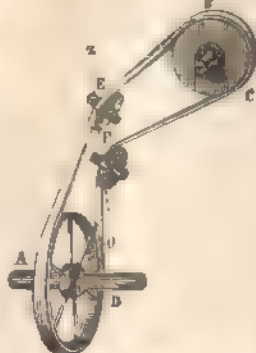
**23. Общія условія ременной передачи.** Ременная передача обладаетъ слѣдующимъ свойствомъ: если привести на *набѣгающій* конецъ ремня боковое движеніе, то оное соскочитъ со шкива и движеніе прекратится, между тѣмъ *обѣгающій* конецъ можетъ быть отведенъ довольно далеко въ сторону безъ нарушенія передачи движенія. Поэтому, для достиженія правильной передачи движенія, необходимо соблюденіе слѣдующаго условія, *чтобы средняя линія набѣгающаго конца ремня лежала въ средней плоскости шкива*. Если это условіе выполнено только для набѣгающихъ концовъ, то передача вращенія возможна только въ одну сторону, если же средняя линія не только набѣгающихъ, но и обѣгающихъ концовъ лежитъ въ средней плоскости шкивовъ, то движеніе будетъ возможно въ обѣ стороны.

**24. Направляющіе блоки.** Направляя надлежащимъ образомъ концы ремня, можно пользоваться ременною передачею и въ тѣхъ случаяхъ, когда оси шкивовъ не параллельны между собою или хотя и параллельны, но шкивы расположены въ различныхъ плоскостяхъ. На фиг. 19 представлена ременная передача между двумя *взаимно-касательными шкивами*. Такъ какъ предшущее условіе выполнено здѣсь только для набѣгающихъ концовъ ремня, то передача возможна лишь въ одну сторону. Для достиженія передачи въ обѣ стороны прибѣгаютъ къ устройствѣ *направляющихъ* или *отводныхъ* блоковъ, которые служатъ для измѣненія направленія ремня. Фиг. 20 изображаетъ передачу въ случаѣ *не пересѣкающихся и не параллельныхъ осей*. Отводные блоки располагаютъ слѣдующимъ образомъ. На линіи ОZ пересѣченія плоскостей шкивовъ берутъ произвольно

двѣ точки Е и F. Въ плоскости АЕВ, опредѣляемой касательными ЕА и ЕВ, проведенными изъ точки Е къ среднимъ сѣченіямъ шкивовъ, помѣщаютъ при точкѣ Е одинъ отводный блокъ,



Фиг. 19



Фиг. 20

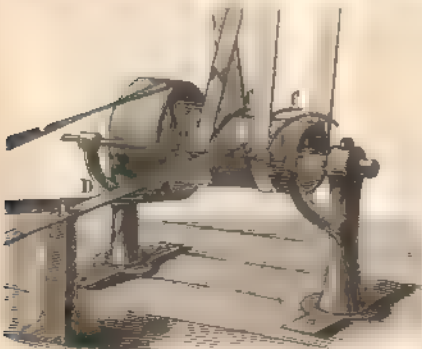
такъ, чтобы ось его была перпендикулярна къ плоскости АЕВ; подобнымъ же образомъ устанавливаютъ второй отводной блокъ въ плоскости CFD. Перекинувъ безконечный ремень черезъ шкивы и блоки, получаютъ требуемую передачу, ибо концы АЕ и FД ремня лежатъ оба въ плоскости шкива AD, а концы ЕВ и FС — въ плоскости шкива ВС.

## 25. Холостой шкивъ

Ременная передача представляетъ наиболѣе употребительное на фабрикахъ средство для передачи движения отъ главнаго вала, получающаго движение отъ машины-двигателя различнымъ рабочимъ машинамъ или станкамъ. При каждомъ станкѣ необходимо должны существовать приспособления, дозволяющіе останавливать, по временамъ, движение отъ главныхъ станковъ мастерской, не прекращая движения машины-двигателя. Для этого рядомъ съ рабочимъ валомъ С (фиг. 21) на валъ АВ сажаютъ вольно другой шкивъ D, который вращается какъ желѣзное колесо на оси, не увлекая за собою вала АВ. Этотъ шкивъ носятъ название *холостого шкива*. При помощи рычага FKL, вѣлка котораго охватываетъ на-



Фиг. 21



Фиг. 22.

бѣгающій конецъ ремня, переводятъ ремень съ рабочаго шкива на холостой, вслѣдствіе чего станокъ останавливается.

Подобнымъ же механизмомъ пользуются для перемѣны хода въ нѣкоторыхъ станкахъ. Для этого сажаютъ на рабочий валъ два холостыхъ шкива В,В (фиг. 22) изъ которыхъ каждый вдвое шире ремня; между ними заклиниваютъ рабочий шкивъ А также двойной ширины, а на верхнемъ приводномъ валу



заклинчиваютъ одинъ шкивъ, ширина котораго равна ширинѣ всѣхъ трехъ шкивовъ А, В, В' вмѣстѣ взятыхъ. Лѣвая вилка С охватываетъ *перекрестный* ремень, правая—*открытый*. При положеніи ремней, показанномъ на чертежѣ, станокъ въ покое. Передвинувъ, при помощи рычага D и вилки С, открытый или перекрестный ремень на рабочій шкивъ А, даютъ станку прямой или обратный ходъ.

**26. Ступенчатые шкивы.** Если рабочій валъ долженъ вращаться, смотря по обстоятельствамъ, съ различными скоростями, то обыкновенные шкивы замѣняютъ *ступенчатыми* (фиг. 23) (состоящими изъ нѣсколькихъ шкивовъ (3-въ долбежныхъ станкахъ и шестиг-машинныхъ, то 5 въ токарныхъ и сверлильныхъ) различной величины отлитыхъ за одно цѣлое. На оба вала сажаютъ совершенно одинаковые ступенчатые шкивы, но въ обратной постѣ доводятъ ступени до одинаковой величины. Диаметры ступеней измѣняются на обоихъ шкивахъ по опредѣленному закону, соответствующему условию, чтобы при всякой перемѣнѣ положенія ремня длина его не измѣнялась.

Если назовемъ буквами  $r_1, r_2, r_3, r_4$  послѣдовательные радиусы обоихъ шкивовъ, и буквою  $n$  число оборотовъ ведущаго вала, то не измѣняя этого числа, можно сообщить рабочему валу слѣдующія числа оборотовъ:  $n \frac{r_1}{r_2}, n \frac{r_2}{r_3}, n \frac{r_3}{r_4}, n \frac{r_4}{r_1}$ , смотря потому, какую послѣдовательную пару шкивовъ охватываетъ ремень.

Ступенчатые шкивы ставятъ главнымъ образомъ въ токарныхъ, сверлильныхъ, строгальныхъ и долбежныхъ станкахъ, скорость движенія которыхъ мѣняется въ зависимости отъ степени отдаленности размеровъ обрабатываемаго предмета и отъ свойствъ обрабатываемаго материала. Чемъ тверже металлъ, тѣмъ медленнѣе должно быть вращеніе, во избежаніе скорой порчи рѣзца, и, наоборотъ, при мягкомъ металлѣ можно допустить большее число оборотовъ.

*Примѣръ.* Ведущій валъ дѣлаетъ 60 оборотовъ въ минуту; отъ него вращеніе передается токарному станку посредствомъ шкива изъ 4-хъ ступеней слѣдующихъ диаметровъ: 16; 23,2 30,4, 37,6 сант. при этомъ шпиндель токарнаго станка можетъ получить рядъ чиселъ оборотовъ: 27; 45; 87; 132 въ мин.

**27 Передача вращенія канатами и цѣпами.** Основныя начала передачи тѣ же, что и для ремней.

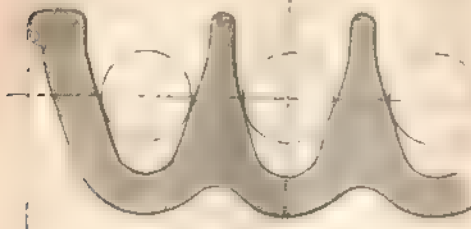
Канаты дѣлаются *канатные* и *проволочные* (железные и стальные). Первые употребляютъ при передачахъ значительныхъ работъ на разстояніи отъ 6 до 15 м., вторые отъ 15 м. до нѣсколькихъ километровъ.

*Канатные канаты* свиваются изъ трехъ *прятокъ* или *стренъ*, пряжки свиваются изъ тонкихъ и ровныхъ нитей лучшей пеньки, переть употребленъ въ цѣло канаты слѣдуетъ вытягивать. Для



Фиг. 23

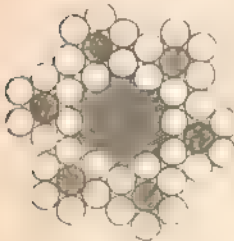
передачи значительныхъ работъ употребляютъ нѣсколько канатовъ (до 20), которые перегибаются черезъ одинъ и тотъ же шкивъ, снабженный клинообразными желобками (фиг. 24). Иногда для этой



Фиг. 24.

цѣли пользуются маховикомъ паровыхъ машинъ. Пеньковые канаты служатъ отъ 3 до 5 лѣтъ. Если передаваемое усилие незначительно (например въ приводѣ швейныхъ машинъ, регуляторовъ, ножныхъ токарныхъ станковъ и т. п.), то передачу производятъ однимъ тонкимъ канатомъ (*струною*) изъ пенькп. джута, бумаги, скрученного ремня. Концы такой струны соединяются навивченными на нихъ крючками.

**28 Проволочный канатъ** свивается изъ 6 стренгъ (фиг. 25), каждая въ 6 желѣзныхъ (лучше изъ стальныхъ) проволокъ, скрученныхъ вокругъ пеньковой пряди на  $80-150^\circ$  стренги въ канатѣ скручиваются до такой же степени, но только въ противоположную сторону. Въ середину между стренгами помещаютъ никелевый канатъ съ плѣсою пряди. Проволочному канату гибкость и предохранить его отъ ржавленія съ внутренней стороны. Для предохраненія отъ ржавленія снаружи канатъ долженъ быть смазанъ чаще смесью льняного масла, смолы и графита.



Фиг. 25.

Главный недостатокъ проволочныхъ канатовъ состоитъ въ томъ, что съ теченіемъ времени подъ вліяніемъ коррозии измѣняется внутреннее строеніе металла проволокъ и канаты часто неожиданно рвутся. Въѣдствіе этого въ Бельгии проволочные канаты были замѣнены въ рудникахъ канатами изъ алю. Въ Германіи и Англіи проволочные канаты мѣняются черезъ каждыя 1 г., хотя бы и не было замѣтно въ нихъ наружныхъ пороковъ.



Фиг. 26.

**Шкивы** для проволочныхъ канатовъ (чувствительные съ чугунными или желѣзными спицами) имѣютъ на ободѣ глубокий желобокъ или горло граненой формы (фиг. 26). Дно горла шкивовъ выложено деревомъ или кусочками

кожи (для очень тяжелых канатов), поставленным на ребро. Для этого из старых ремней вырезают трапецевидные куски, которые вставляются через боковые отверстия, сделанные в ободке шкива, после чего отверстия эти закрываются железными накладками, а кожаная набойка обтачивается на токарном станке.

Патяжение и происходящее от него сближение между канатом и шкивом, возбуждаемая собственным весом каната, достаточны для передачи движений. При большом расстоянии между шкивами, канат получает значительный прогиб. Если такой прогиб не допускается местными условиями, то для поддержания каната устанавливают на каменных или железных колоннах между рабочими шкивами несколько поддерживающих блоков, такой же конструкции как и рабочие шкивы (фиг. 27), в разгоя-



Фиг. 27.

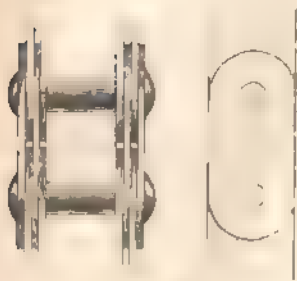
ди 100 м один от другого. Для уменьшения жесткости каната, шкивам для проволоочной передачи дают diam от 3 до 4 м; число оборотов шкивов обыкновенно очень велико — от 100 до 150 в мин., что соответствует скорости каната около 30 м. Чем больше скорость каната, тем удобнее и с тем меньшей потерей работы передается движению.

Проволоочные канаты вошли в употребление с 1823 г. в горных рудниках, где они применялись для передачи движения с поверхности земли внутрь шахт (при машинном передвижении грузов). Ими пользовались также для движения ступов при паровом нахвате (с 1848 г.) но ввиду рациональной проволоочной передачи (телеграфический кабель) была устроена впервые фр. инж. Ферд. Липом в 1850 г. в Локлах (Швейцария) и с тех пор все более и более распространяется, допуская передачу движения на значительные расстояния при небольшой потере работы, проволоочные канаты дают возможность пользоваться двигателем для действия фабрик и заводов, расположенных в некотором удалении от источника силы, в более удобной местности. Таким способом передается, напр., работа, доставляемая водопадом Роны (около 4000 паровых лошадей) близ селения *Бельмюль* для действия многочисленных фабрик, расположенных вокруг этого селения.

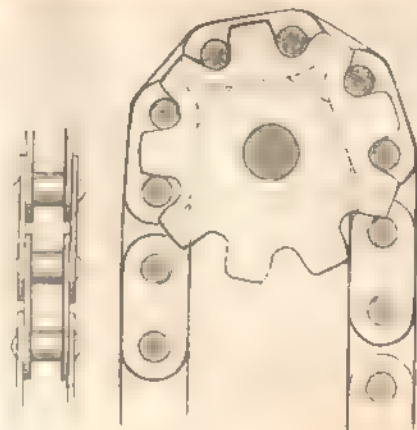
29. В случае значительных и переменных усилий, при медленной передаче, приоткают к помощи *чирн*, если почему-либо неудобно или невозможно устроить передачу зубчатыми колесами.

Наибольшее применение в практике имеют так наз. *ширные чирны* или *чирн Галля* (фиг. 28) с плоскими железными дисками, соединенными между собою болтами. Шкивы для этой

цѣпи снабжаются на ободках выступами, за которые захватываются

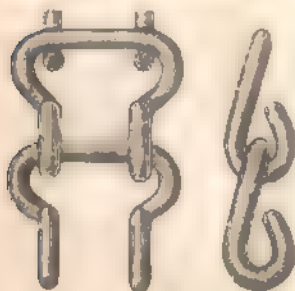


Фиг. 28.



Фиг. 29.

звенья при наоугании на шкивы (фиг. 29). Цѣпи Галля отличаются



Фиг. 30.

прочностью и употребляются для передачи большихъ усилий. Для передачи сравнительно меньшихъ усилий пользуются не рѣдко *кривковою цѣпью Вакенсона* (фиг. 30), которая собирается изъ звеньевъ особой формы, изготовляемыхъ изъ круглаго желѣза. При такой формѣ звеньевъ цѣпь легко и правильно наводится на шкивы. Последнее имѣетъ устройство подобно изображенной на фиг. 30 *шестерни Галля*.

Цѣпи имѣютъ обширное примѣненіе въ земледѣлательныхъ машинахъ, въ станкахъ для вытягиванія трубъ, въ подъемныхъ кранахъ и т. п.

### ЗАДАЧИ.

1. Определить потерю работы въ сек. на треніе цилиндрической цѣпы если радиусъ ея г, нормальное давленіе на цѣфу Р, число оборотовъ въ мин. и коэффициентъ тренія f.

2. Определить потерю работы въ сек. на треніе цилиндрической палы при данныхъ предыдущей задачи.

3. Посредствомъ ~~и~~ ~~ническихъ~~ ~~тренихъ~~ муфты (фиг. 13) средній радиусъ которыхъ — R, передается N пар ~~тис~~ ~~Муфта~~ ~~дѣлаетъ~~ ~~и~~ ~~оборотовъ~~ въ мин., уголъ между приводами конуса и ~~сью~~ —  $\alpha$  коэф. тренія — f. Определить: 1) Усилие Р, передаваемое на средней окружности муфты и его мо-



ментъ относительно оси муфты: 2) давление  $Q$  по направлеію оси для про-  
изведенія необходимаго сдвигенія.

*Численный примѣръ:*  $N = 1.5$ ;  $n = 50$ ;  $R = 0.25$  м;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $f = 0.15$ .

4. Опредѣлять величину дуги  $\alpha$ , огибаемой открытымъ ремнемъ на мень-  
шемъ шкивѣ, если разстояніе между осями шкивовъ  $= d$ , а радіусы  $r$  и  $R$ .

5. Найти величину дуги  $\alpha$ , огибаемой перекрестнымъ ремнемъ на большемъ  
шкивѣ.

6. Рѣшить предыдущія задачи по слѣдующимъ даннымъ  $r = 8''$ ;  $R = 30''$ ;  
 $d = 144''$ .

7. Показать, что въ случаѣ перекрестнаго ремня длина его  $L = (R + r)$   
 $\left\{ \pi + 2\alpha \right\} + 2d \sqrt{1 - \left( \frac{R - r}{d} \right)^2}$ , гдѣ  $\alpha$  есть острый уголъ, образуемый рем-  
немъ съ линією центровъ и выраженный въ частяхъ радіуса.

8. Показать, что въ случаѣ открытаго ремня длина его  $L = \pi(R - r) +$   
 $+ 2\alpha(R - r) + 2d \sqrt{1 - \left( \frac{R - r}{d} \right)^2}$ .

9. Опредѣлить отношеніе скоростей груза и свободнаго конца веревки въ  
подвижномъ блокѣ и полиспастахъ.

10. Опредѣлить натяженіе  $T$  ведущаго конца ремня, охватывающаго по-  
дуоокружности чугунаго шкива, радіусъ котораго  $= 0.2$  м., если передаваемое  
усиліе  $P = 60$  klg.

11. Опредѣлить потерю работы въ сек на жесткость ремня, принимая:  
редняя натянутость  $T_0 = 1.5P$  (§ 20) число оборотовъ ведущаго шкива  $n$ ,  
передаточное число  $k$ , ширина ремня  $a$ , толщина его  $b$ , радіусъ ведущаго  
шкива  $r$ , ведомаго  $R$ .

12. Опредѣлить потерю работы на треніе въ осяхъ шкивовъ, принимая  
истинн. ремня параллельными, радіусы цапфъ ведущаго шкива  $= \rho_1$ , рабо-  
таго  $\rho_2$ , и коеф. тренія, одинаковый для обоихъ цапфъ, равнымъ  $f$ .

13. Опредѣлить потерю работы отъ тренія и жесткости ремня при слѣ-  
дующихъ условіяхъ: радіусъ  $R$  ведущаго шкива  $= 0.3$  м., рабочаго  $r = 0.2$  м.,  
діаметръ ведущаго вала  $d = 0.072$  м., а рабочаго  $d_1 = 0.05$  м., ширина ремня  
80 мм., а толщина 4 мм.

14. Работа, передаваемая открытымъ ремнемъ, равна 8 паров. лоп., ра-  
діусъ малаго шкива  $= 0.3$  м., а число оборотовъ  $n = 150$  въ мин. Опредѣлить  
натяженіе ремня, если дуга, охватываемая имъ на маломъ шкивѣ  $= 0.8\pi$ .

15. Главный валъ 30 силъной машины дѣлаетъ 56 оборотовъ въ мин.  
Маховая діаметръ въ 3.6 м., при пособіи для канатной передачи (спаба-  
леть желобками) и передатъ работу 3 валамъ — одному 20 — другому 30 и  
третьему 40 п. л. Всѣ валы дѣлають 100 оборотовъ въ мин. Опредѣлить діа-  
метр шкивовъ, передаваемое каждому изъ нихъ усиліе и натяженія веду-  
щихъ вѣтвей канатовъ.

## ГЛАВА II.

Передача движѣнія непосредственнымъ прикоснове-  
ніемъ.

Относительное движѣніе двухъ соприкасающихся кривыхъ, катаніе и скольженіе. Дуга скольженія — Трещина катки — Звочатныя колеса, или под-  
раздѣленіе и устьё бѣство. Геометрическое условіе правильности передачи. — Кривыя, удовлетворяющія основному условію передачи. — Эллипсоидальное зацепленіе. — Зацепленіе съ плоск. границами выпуклостями — Эйлерово зацепленіе. Сравненіе эллипсоидальныхъ колесъ съ колесами Эйера — Зубчатая рейка — Число зубцовъ на колесахъ — передаточное число. Давленіе и треніе въ зубцахъ. — Скользяя зацепленія. Параллельныя колеса. Одометръ. Дифференціальный винтъ. — Механизмъ для подачи сверла. — Четчикъ Вольты. — Эллипсоидическія зацепленія — Планетарій Уатта. Конный приводъ Барретъ. — Планетный механизмъ цилиндрическаго станка. — Безъпочтовый винтъ. Винтовые колеса Гукъ — Шарниръ Гукъ — Архимедовы колеса. Регулирующій механизмъ стѣпныхъ часовъ. Задвижки.

**30. Относительное движѣніе двухъ соприкасающихся кривыхъ; катаніе и скольженіе; дуга скольженія.** Пусть АВ и CD (фиг. 31) будутъ двѣ плоскія кривыя, представляющія контуры двухъ тѣлъ и соприкасающихся въ точкѣ М.



Фиг. 31.

Если одно изъ тѣлъ, или оба вмѣстѣ движутся такимъ образомъ, что общая точка М касанія кривыхъ АВ и CD постоянно перемѣщается въ одну и ту же сторону, относительно первоначальнаго своего положенія, и проходитъ по кривымъ въ одно и то же время равныя дуги  $MN = M'N'$ , то говорятъ, что тѣла *катятся* одно по другому.

Если одна изъ дугъ, напр. MN равна нулю, то такое движѣніе одного тѣла относительно другаго наз. *скольженіемъ*. Дуга MN, проходимая точкою касанія М по движущемуся тѣлу, наз. *дугою скольженія*.

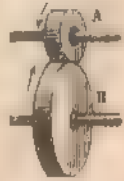


Фиг. 32.

Если дуги MN и M'N' не равны между собою, но лежатъ по одну сторону общей точки соприкасанія кривыхъ АВ и CD то въ этомъ случаѣ тѣла и скользятъ и катятся одно по другому. Если, напр. дуга  $MN > M'N'$ , то тѣла катятся на пути M'N', равномъ меньшей дугѣ и скользятъ на пути MN — M'N', равномъ разности дугъ. Наконецъ, если дуги

MN и M'N' (фиг. 32) лежатъ на разныхъ сторонахъ ихъ общей точки прикосновенія, то происходитъ только скольженіе, но дуга скольженія равна не разности, а суммѣ дугъ  $MN + M'N'$ .

**31. Трущіеся катки.** Трущіеся или фрикціонные катки употребляются для передачи вращательнаго движенія отъ одного вала къ другому, когда разстояніе между ними и передаваемое усилие незначительны. Если *оси валовъ параллельны*, то катки имѣютъ форму цилиндровъ (фиг. 33), соприкасающихся по своей производящей. При известной степени нажатія катковъ, сцепленіе между ихъ ободьями не дозволяетъ имъ скользить другъ по другу, такъ что при вращеніи одного катка будетъ вращаться и другой въ обратную сторону, при этомъ величина сцепленія должна быть по меньшей мѣрѣ равна передаваемому усилию. Такъ какъ катки перекатываются безъ скольженія, то скорости на окружностяхъ ободовъ одинаковы, поэтому, называя буквами  $r, r', \omega, \omega', n, n'$  радиусы, угловыя скорости и числа оборотовъ катковъ, будемъ имѣть  $\omega r = \omega' r'$ , откуда



Фиг. 33.

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{r}{r'} = \frac{n}{n'} \quad (7)$$

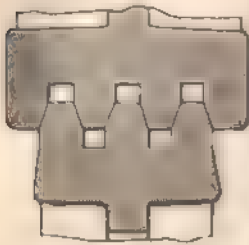
т. е. *угловыя скорости* (или числа оборотовъ) *обратно пропорцїонны радиусамъ катковъ*. Такимъ образомъ, если вращеніе одного катка происходитъ равномерно, то и другой будетъ вращаться равномерно, ибо отношеніе ихъ угловыхъ скоростей постоянное.

Трущіеся катки употребляются довольно часто, преимущественно въ машинахъ, обладающихъ большими скоростями (до 1000 и болѣе оборотовъ), центробѣжные насосы, вентиляторы, молотилки, вѣялки, прядильные станки и тѣл., гдѣ, передаваемое усилие не велико.

Наибольшая величина передавимаго усилия (касательнаго къ окружностямъ катковъ) опредѣлится изъ формулы  $P = iQ$ , гдѣ  $Q$  есть давленіе между катками и  $i$  коэфф. тренія. Если  $v$  есть скорость на окружностяхъ катковъ въ метрахъ въ сек.,  $N$ —число паровъ или, передаваемыхъ катками, то  $P = \frac{75N}{v}$ , откуда найдемъ необходимое давленіе въ каткахъ  $Q = \frac{75N}{iv}$ . Увеличенія его достигаютъ увеличеніемъ коэфф. тренія  $i$ , для чего ободъ одного изъ катковъ снабжаютъ деревянною, кожаную или бумажною набойкою. Увеличивать же давленіе между катками невыгодно, такъ какъ оно прямо срывается валами, вслѣдствіе чего увеличивается треніе въ цапфахъ. Величины коэфф. тренія  $i$  при сухихъ поверхностяхъ ободовъ можно принимать: для чугуна по чугуну 0,15—0,2; для бумажной массы по металлу 0,20, для кожи 0,28; для дерева по металлу 0,25—0,30.

Къ фрикціоннымъ каткамъ относятся *клиновыя колеса* (фиг. 34), ободы которыхъ снабжены клинообразными кольцевыми выступами и

впадинами, входящими одни въ другіе. Это дѣлается съ цѣлью увели-  
чить сѣзление между катками, не прибѣгая  
къ увеличенію давленія между ободьями. Дѣй-  
ствительно, если уголъ клина есть  $2\alpha$ , то на-  
жимающее усиліе  $Q$  разложится на 2 нормаль-  
ныхъ давленія, равныхъ каждое  $N = \frac{Q}{2\sin\alpha}$ ,



Фиг. 34.

откуда видно, что при небольшихъ углахъ  
заостренія выступовъ (обыкновенно  $30^\circ$ ) по-  
мощью незначительнаго давленія  $Q$  можно  
получить большое сѣзленіе на двухъ ще-  
кахъ клинообразныхъ выступовъ. Для умень-  
шенія изнашиванія выступовъ число ихъ  
дѣлаютъ отъ 1 до 6. На передаваемое усиліе число выступовъ влия-  
нія не имѣетъ.

32. Если оси валовъ пересѣкаются, то катки имѣютъ форму  
усѣченныхъ конусовъ, касающихся по общей про-  
изводящей (ОС, фиг. 35). При этомъ, если катки не  
скользятъ одинъ по другому, то скорость на сопри-  
касающихся окружностяхъ будетъ одинакова; слѣд.

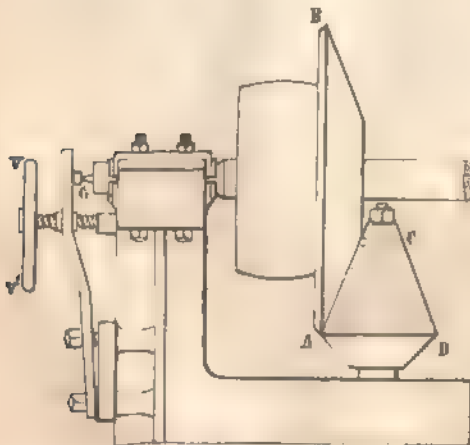


Фиг. 35.

имѣемъ:  $\frac{\omega}{\omega'} = \frac{r'}{r} = \frac{n}{n'}$ , гдѣ  $r$  и  $r'$  суть радіусы боль-  
шихъ основаній, или, такъ какъ  $r = OC \sin\alpha$  и  $r' = OC \sin\alpha'$

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{r'}{r} = \frac{\sin\alpha'}{\sin\alpha} \quad (8)$$

т. е. угловая скорость обратнопропорціональна синусамъ угловъ  
между осями и общей про-  
изводящей катковъ.



Фиг. 36.

На фиг. 36 представ-  
лена обыкновенная кон-  
струкция коническихъ тру-  
щихся катковъ. АВ—чу-  
гуный конусъ, насажен-  
ный на горизонтальный  
валъ, тщательно установ-  
ленный въ подшипникахъ.  
АСД—малый конусъ, со-  
ставленный изъ кожаныхъ  
кружковъ, зажатыхъ крѣп-  
ко между дисками С и АД,  
и обточенный на токар-  
номъ станкѣ. Нажимъ кат-  
ковъ производится по-  
мощью маховичка V, отъ



котораго давленіе передается концу G горизонтальнаго вала при посредствѣ рычага.

**33.** Если оси катковъ расположены въ разныхъ плоскостяхъ, то они получаютъ форму *гиперболоидовъ вращения* и наз. *гиперболоидальными* катками. Такіе катки ирочемъ употребляются въ практикѣ рѣдко. Для передачи вращенія въ подобныхъ случаяхъ пользуются обыкновенно сложными коническими приводами. Для этого устанавливають по направленію прямой (B, пересѣкающей данныя оси (фиг. 37), вспомогательную ось съ двумя коническими катками C и F, при помощи которыхъ достигается требуемая передача.



Фиг. 37.

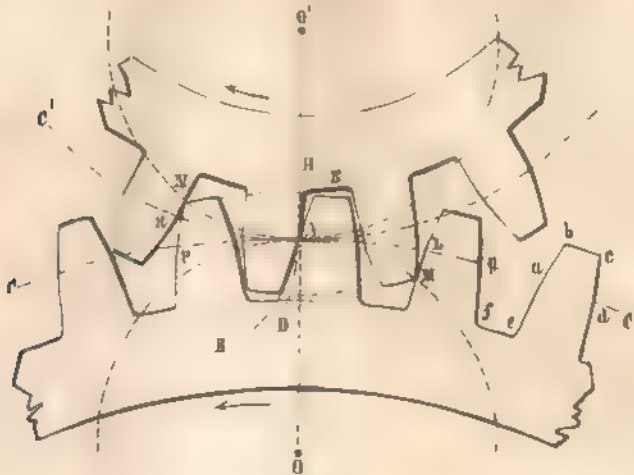
**34** **Зубчатые колеса; ихъ подраздѣленіе и устройство.** При значительной величинѣ передаваемого катками усилія одного тренія между ихъ ободьями недостаточно для передачи вращенія. Для обезпеченія надлежащаго сцепленія на ободьяхъ катковъ дѣлають выступы и впадины, последовательно чередующіеся, т. е. зубцы; такимъ образомъ получаются *зубчатые колеса*. Если колеса находятся въ сцепленіи, то зубцы одного входятъ во впадины другаго, причемъ зубцы *окулащаго* колеса давятъ на зубцы *рабочаго* колеса и заставляютъ его вращаться.

Зубчатые колеса бывають *цилиндрическія, коническія, эллиптическія и гиперболоидальныя*, смотря потому, на какомъ каткѣ сдѣланы зубцы; самые катки, служащіе основаніемъ зубчатыхъ колесъ, наз. *начальными цилиндрами, конусами или гиперболоидами*. Цилиндрическія зубчатые колеса служатъ для передачи вращательнаго движенія между параллельными осями, коническія — между пересѣкающимися, а гиперболоидальныя — между осями, расположенными въ разныхъ плоскостяхъ. Въ практикѣ къ эллиптическимъ и гиперболоидальнымъ колесамъ прибѣгаютъ рѣдко. Последнія замѣняютъ обыкновенно сложными коническими зазѣпленіями, или *безконечнымъ винтомъ*, если оси взаимноперпендикулярны.

**35.** Разрѣчаемъ пару сцепляющихся цилиндрическихъ колесъ, плоскостью, перпендикулярною къ ихъ осямъ (фиг. 38). Поверхности начальныхъ цилиндровъ падаютъ въ сѣчени двѣ соприкасающіяся окружности  $CC'$  и  $CC'$ , которыя наз. *начальными окружностями*. Часть  $abcd$  зуба, лежащая внѣ начального цилиндра, наз. *выступомъ*; часть  $aefg$  промежутка между зубцами внутри начального цилиндра, наз. *впадиной*, сумма размѣровъ выступа и впадины по направленію радиуса даетъ *высоту* зуба. Линія  $bac$ , ограничивающая сѣченіе зуба, наз. *профилемъ* зуба. Толщина  $ad$  зуба, какъ и ширина  $ad$  впадины, измѣряются по начальной окружности  $CC'$ ;

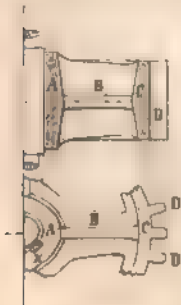
) Ширина впадины всегда дѣлается нѣсколько больше толщины зуба,

сумма ихъ даетъ величину *шага зацепленія*  $dg$ , который измѣряется и откладывается также по дугѣ начальной окружности, на



Фиг. 38

этомъ основаніи начальныя окружности наз. также *шаговыми* или *длительными*. На обоихъ сдѣлывающихся колесахъ шагъ, конечно, одинаковъ, и долженъ заключаться цѣлое число разъ въ начальныхъ окружностяхъ колесъ. Подъ радиусами колесъ разумѣютъ радиусы начальныхъ окружностей.



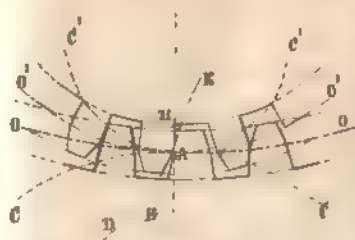
Фиг. 39.

Какъ и шесты, зубчатые колеса состоятъ (фиг. 39) изъ *штулки* A (ступицы), *ручекъ* B (спиць) и *обода* C, на которомъ расположены зубцы D. Штулка закрѣпляется на оси посредствомъ клина или *шпонки*  $x$ , имѣющей чаще всего квадратное сѣченіе. Спицы имѣютъ въ сѣченіи форму или крестообразную (чаще всего) или въ видѣ простого и двойного T, и рѣже овальную.

Цилиндрическія зацепленія раздѣляются на *внѣшнія*, въ которыхъ зубцы расположены на внѣшней сторонѣ обода (фиг. 38) и на *внутреннія* (фиг. 40), когда на одномъ колесѣ зубцы сдѣланы на внутренней сторонѣ обода. Въ первомъ случаѣ колеса вращаются въ разные стороны, во второмъ—въ одну и ту же.

*Чугунныя колеса* небольшихъ диаметровъ отливаются за одно чтобы зубцы могли свободно помѣщаться въ промежуткахъ (въ чугунныхъ колесахъ ширина впадины дѣлается отъ 1,05 до 1,1 толщины зубца).

съ зубьями, шестерни <sup>1)</sup> очень малых диаметров отливаются въ видѣ силовыхъ дисковъ, безъ спицъ, зубцы нарѣзаются на зуборѣзныхъ машинахъ. Колеса большихъ диаметровъ (отъ 8 до 9 фут.) отливаются по частямъ, такъ какъ цѣльная отливка часто, вслѣдствіе неравномернаго охлажденія, даетъ трещины (обыкновенно ободъ и ступица съ ручками отливаются порознь и затѣмъ соединяются между собою болтами, а при очень большихъ размѣрахъ колеса самый ободъ составляется изъ отдѣльных частей (кожуховъ). При большихъ скоростяхъ весьма полезно дѣлать изъ одного изъ сближающихся колесъ, деревянные (изъ дуба, бука или граба) вставные зубья. Последние вколачиваются въ гнѣзда, сдѣланные въ ободѣ, и закрѣпляются шпигтами или клиновыми, пропущенными вдоль самаго обода снизу. Хвосты зубца или между хвостами (фиг. 41 и 42). Колеса съ деревянными зубцами отли-



Фиг. 40.

ваются частями (кожуховъ). При большихъ скоростяхъ весьма полезно дѣлать изъ одного изъ сближающихся колесъ, деревянные (изъ дуба, бука или граба) вставные зубья. Последние вколачиваются въ гнѣзда, сдѣланные въ ободѣ, и закрѣпляются шпигтами или клиновыми, пропущенными вдоль самаго обода снизу. Хвосты зубца или между хвостами (фиг. 41 и 42). Колеса съ деревянными зубцами отли-



Фиг. 41.



Фиг. 42.

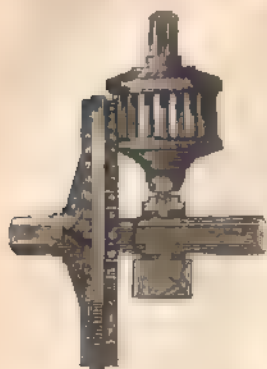
ваются мягкимъ и плавнымъ ходомъ, сверхъ того починка такого колеса, въ случаѣ порчи зубьевъ, производится весьма просто замѣною сломанныхъ или сильно истертыхъ зубьевъ новыми.

**36** *Деревянные зубчатые колеса* подраздѣляются на *кроншвейн* и *лобовые*, въ первыхъ зубцы помѣщены на внешней сторонѣ обода, на продолженіи радиусовъ, во вторыхъ — на лицевой (боковой) сторонѣ <sup>2)</sup>. Какъ тѣ, такъ и другія сближаются съ деревянною же шестернею, имѣющею особую форму, показанную на фиг. 43. Зубья такой шестерни, имѣющія большую часть цилиндрическую форму, носятъ названіе *чашечекъ*, а самая шестерня названіе *чашечной* или *фонарной* шестерни. Цѣвки укрѣпляются между двумя дисками или

<sup>1)</sup> Въ системѣ зубчатыхъ зацепленій *шестернями* наз. колеса малыхъ диаметровъ.

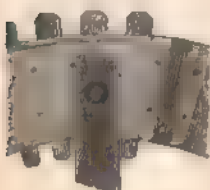
<sup>2)</sup> Лобовые или *чашечные* колеса служатъ для передачи вращенія между *взаимноперпендикулярными* осями.

шайбами, насаженными на квадратный валъ, деревянный или желѣз- ный параллельно одинъ къ другому, и стя- нутыми болтами.



Фиг. 13.

Гнѣзда для зубцовъ продавливаютъ въ самихъ вѣнцахъ, съ лицевой стороны. Зубцы укрепляютъ шпильками или клиньями. Въ деревянныхъ колесахъ нѣтъ ступицы, а спицы или ручки соединяются непосредственно съ валомъ. *Спицы* имѣютъ радиальное направление и укрѣпляются концами въ гнѣздахъ, выдолбленныхъ въ валѣ, а *ручки* имѣютъ параллельное, параллельное радиусу,



Фиг. 44.

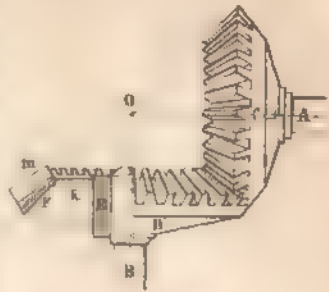
образуя въ центрѣ квадратное отверстіе, въ ко- торомъ проходитъ валъ. Гребенные колеса имѣ- ютъ двѣ системы ручекъ или спицъ, по одной для вѣйна, (каждая о 4 ручки) а лобовыя одну. Ободья колесъ врубаются въ ручки и стягиваются съ ними плотно желѣзными болтами.

Хотя вообще отъ деревянныхъ колесъ, особенно если они под- вержены атмосфернымъ влияніямъ, иногда нельзя ожидать совер- шенно правильнаго зацепленія, потому что зубья легко разбухаютъ или ссыхаются, однако при извѣстныхъ условіяхъ, а именно, гдѣ требуется главнымъ образомъ тепловизна привода (какъ, напр., въ сельскомъ хозяйствѣ при устройствѣ вѣтряныхъ мельницъ, конныхъ приводовъ и т. п.), такъ деревянные колеса очень полезны и пред- почитаются чугуннымъ.

**37. Коническія колеса** употребляются для передачи вращенія между двумя пересѣкающимися осями, чаще всего взаимноперпен- диккулярными. На фиг. 45 представлено коническое зацепленіе частью въ боковомъ видѣ, частью въ диаметральному разрѣзѣ. А и В суть двѣ взаимноперпендикулярныя оси, на которыхъ заклиены кони- ческія колеса С и D. Подобно цилиндрическому, всякое коническое



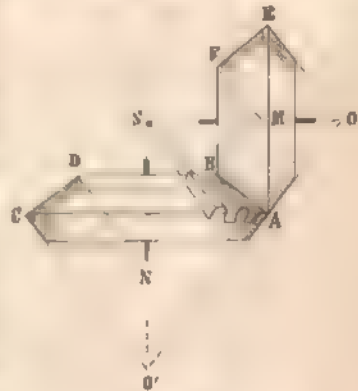
колесо состоит из втулки Е и обода F, который здесь имѣет коническую форму. Втулка и ободъ соединены между собою ручками К, имѣющими Т-образное сѣчение; наконецъ зубцы  $m$  имѣютъ также коническую форму и усѣчены по концамъ коническими же поверхностями.



Фиг. 45.

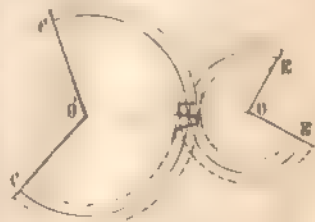
38. Чтобы выяснитъ геометрическое очертаніе зубцовъ коническихъ колесъ представимъ себѣ два начальныхъ коническихъ катка, т. е. такіе два касательные конические отръбака  $ABCD$  и  $ADEF$  (фиг. 46) которые удовлетворяютъ слѣдующимъ условиямъ: 1) обода ихъ вершина есть точка  $A$ , гдѣ пересекаются оси  $SO$  и  $SO'$  колесъ, 2) оси ихъ суть оси колесъ и 3) отношеніе радиусовъ ихъ оснований равно обратному отношенію угловыхъ скоростей колесъ. Проведемъ перпендикуляръ  $OO'$  къ общей производящей конусовъ  $AB$ . При вращеніи начальныхъ конусовъ, прямая  $OA$  и  $O'A$  опишутъ коническія поверхности  $OAE$  и  $O'AE'$ , имѣющія общую производящую  $OO'$  и вершины въ точкахъ  $O$  и  $O'$ . Эти конусы наз. *дополнительными конусами* колесъ. Они имѣютъ основанія, общія съ начальными конусами, и касаются между собою въ точкѣ  $A$ . Замѣтимъ, что всегда длина пути, на протяженіи котораго два зубца идутъ, сдѣлавшись одинъ съ другимъ, составляетъ незначительную часть полной окружности колеса, потому соответствующія части дополнительныхъ конусовъ  $OAE$  и  $O'AE'$  можно приблизительно принять за плоскости, совпадающія съ касательною плоскостью, перпендикулярною къ чертежу и проведенною черезъ  $OO'$ .

отношенію угловыхъ скоростей



Фиг. 46.

Другими словами, мы принимаемъ, что при вращеніи колесъ движеніе дополнительныхъ конусовъ происходитъ также, какъ если бы поверхности ихъ были развернуты на плоскость  $OO'A$ , т. е. какъ если бы это были цилиндрическія колеса, радиусы начальныхъ круговъ которыхъ суть  $OA$  и  $O'A$ . Развернемъ теперь поверхности  $AB$  и  $A'E'$  дополнительныхъ конусовъ въ плоскость, получимъ круговые секторы  $O'CE$  и  $OAE$  (фиг. 47), радиусы которыхъ равны  $OA$  и  $O'A$ , а длины дугъ равны окружностямъ основаній начальныхъ конусовъ (на чертежѣ меньшій). Раздѣлимъ затѣмъ дуги  $CC'$  и  $EE'$  на столько частей, сколько зубцовъ на колесахъ и вычертемъ эти зубцы какъ для двухъ цилиндрическихъ колесъ (§ 40), имѣющихъ  $CC'$  и  $EE'$  начальными кругами. Затѣмъ наверхемъ секторы съ вычерченными профилями снова



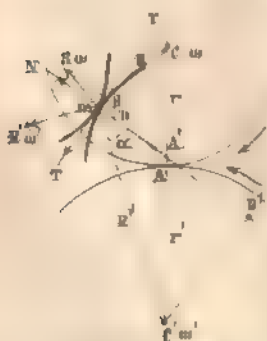
Фиг. 47.

на соответственные дополнительные конусы таким образом, чтобы начальные круги  $C'$  и  $E$  совпали с  $AC'$  и  $AE$ . При этом выступы зубцов лягут выше  $AC'$ , а впадины — ниже. Если теперь возьмем прямую  $AB$  и заставим ее двигаться так, чтобы она постоянно проходила через точку  $N$ , а конец ее двигался бы по начерченным зубцам, то своим движением вывела прямая опишет коническую поверхность, которая и будет поверхностью, ограничивающей зубцы колеса с боков. Со стороны, противоположной вершине  $N$ , зубцы будут ограничены поверхностями цилиндрических дополнительных конусов, а со стороны вершины  $N$  их укажут поверхности так называемых *передних доополнительных конусов*, которые образуются тем же способом как и зашие дополнительные конусы. Именно, проведем перпендикуляр  $MN$  к общей производящей конусов в точке  $B$ , при вращении колеса прямая  $MB$  и  $NB$  опишет поверхности конусов, имеющих общую производящую  $MN$  и вершины в точках  $M$  и  $N$ , это и будут *передние дополнительные конусы*.

Окружность  $A'$  наз. *начальной окружностью*, часть ее, занятая зубцом, наз. *толщиной зубца*, а часть, занятая промежутком между зубцами, *нижним пространством*, сумма их *начальной ширины*. Высота выступа и глубина впадины считаются в конических колесах по производящей дополнительного конуса. *Длина* зубца наз. часть  $AB$  производящей начального конуса. Отношения между всеми этими размерами так же, как и в цилиндрических колесах.

**39. Геометрическое условие правильности передачи.** Какое колесо представляет взаимнообращенный каток, следовательно, главное условие, которое должно быть выполнено при устройстве колеса, для правильной, плавной и непрерывной передачи вращения, должно состоять в том, чтобы их начальные окружности, как в трущихся катках, катились друг по другу без скольжения, а для этого надо чтобы угловые скорости их выходились в постоянном определенном отношении (§ 31). Добавим, что для выполнения этого условия *зубы должны иметь такое очертание, чтобы общая нормаль к их профилям в точках их соприкосновения постоянно проходила через точку касания начальных окружностей*.

Пусть  $m$  (фиг. 18) будет точка касания профилей двух сцепляющихся зубцов на колесах  $C$  и  $C'$  и предположим что эти кривые удовлетворяют условию постоянства отношения  $\omega = \frac{CA'}{\omega' = CA}$ . Соединим точку  $m$  с



Фиг. 4.

центрами  $C$  и  $C'$  колеса и назовем длину  $mC$  буквою  $R$ , а  $mC'$  буквою  $R'$ . Разматривая точку  $m$  как точку нижнего зубца, найдем по скорости ее, перпендикулярная к  $mC'$ , равна  $R'\omega'$ . Если же разматривать ее как точку верхнего зубца, то скорость ее, перпендикулярная к  $mC$ , будет равна  $R\omega$ . Проведем к зубцам общую каса-

тельную и нормаль, при чем положим, что нормаль пересекает линию центров не в  $A$ , а в  $A'$ . Разложим каждую скорость по касательной и по нормали к обоим зубцам. Нормальные составляющія скоростей должны быть равны, иначе зубцы отделились бы, или же одинъ зубец въѣзжалъ бы въ другой, касательныя же скорости могутъ быть и не равны. Поэтому имѣемъ  $R'\omega' \sin \alpha = R\omega \sin \beta$ . Опустивъ изъ центровъ колеса перпендикуляры  $CD$ ,  $C'D'$  на нормаль, будемъ имѣть  $CD = R \sin \beta$  и  $C'D' = R' \sin \alpha$ , а потому  $CD\omega = C'D'\omega'$  или  $CD : C'D' = \omega' : \omega$ . Далѣе имѣемъ подобія  $\triangle$ -овъ  $CDA'$  и  $C'D'A'$  имѣемъ  $CA : C'A' = CA' : C'A$ , следовательно

$$\frac{CA}{C'A} = \frac{\omega'}{\omega} ;$$

но, по условію,  $\frac{CA}{C'A} = \frac{\omega'}{\omega}$ , а потому должно быть  $\frac{C'A'}{C'A} = \frac{CA}{C'A}$ , т. е. точка  $A$  должна совпадать съ  $A'$ . И такъ, общая нормаль къ профилямъ зубцовъ должна постоянно проходить черезъ точку касанія начальныхъ окружностей.

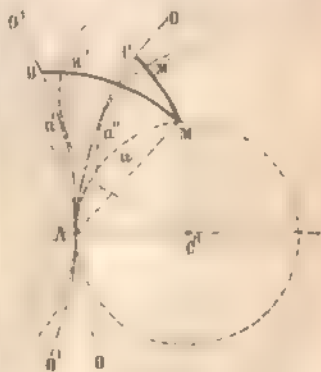
**40 Кривыя, удовлетворяющія основному условію передачи.** Наибольше употребительныя въ практикѣ профили зубцовъ.

1) *эпициклоиды* для выступовъ и *гипоциклоиды* для впадинъ (циклоида и прямая линія представляютъ частными случаями предыдущихъ кривыхъ);

2) *развертки кривою* для выступовъ и впадинъ.

Докажемъ, что профили зубцовъ, очерченные по этимъ кривымъ, удовлетворяютъ условію правильной передачи.

**41 Эпициклоидальное зацепленіе.** Пусть  $O'O$  и  $O'O'$  (фиг. 49) будутъ начальные окружности колеса. Возьмемъ третью *вспомогательную* окружность  $AC'$ , имѣющую общую точку касанія  $A$  съ шатунными кругами и замѣтимъ на ней какую либо точку  $M$ . Затѣмъ покатаемъ вспомогательную окружность безъ скольженія по окружности  $O'O'$ , при этомъ движеніи точка  $M$  опишетъ *эпициклоиду*  $MB$ . После того покатаемъ вспомогательную окружность внутри окружности  $OO$ , точка  $M$  опишетъ *гипоциклоиду*  $MC$ . Примемъ кривую  $MB$  за очертаніе выступа зуба на колесѣ  $O'O'$ , а кривую  $MC$  за очертаніе впадины зуба на колесѣ  $OO$ . Въ положеніи, представленномъ на чертѣжѣ, зубцы касаются въ точкѣ  $M$ . Въ этой точкѣ элементы обѣихъ кривыхъ сливаются съ бесконечно малою дугою, которую стремится



Фиг. 49.

описать въ первый моментъ точка М около мгновеннаго центра А. Следовательно, радиусъ АМ есть общая нормаль къ кривымъ МВ и МС, а такъ какъ эта нормаль проходить черезъ точку А соприкасания начальныхъ окружностей, то кривыя эти удовлетворяютъ основному условію передачи, ибо сказанное справедливо для всякаго положенія вспомогательной окружности.

На фиг. 38 СС и С'С' суть начальные окружности колесъ, ОАМ и ОАN—вспомогательныя. Профиль выступу зубцовъ колеса С есть часть эллипсойды АВ, а профиль впадины—часть гипоциклоиды АП. Для колеса С профилемъ выступовъ служатъ часть эллип АЕ, а профилемъ впадинъ—часть гипоциклоиды АН. При составленіи чертежа цилиндрическихъ зубчатыхъ колесъ отъ точки А наносятъ по начальнымъ окружностямъ <sup>1)</sup> шагъ заѣмления и при точкахъ дѣленія вычерчиваютъ профили, тождественныя и одинаково расположенныя съ тѣми, которые вычерчены при точкѣ А <sup>2)</sup>. Чтобы передача вращенія могла совершаться въ обѣ стороны, зубцамъ должно дать очертаніе, симметричное относительно его средней линіи. Для этого откладываютъ по начальнымъ окружностямъ, начиная отъ точки А, на колесѣ С вправо, а на колесѣ С' влѣво, при каждой точкѣ шагового дѣленія, толщину зубцовъ, и при помѣхъ точкахъ дѣленія вычерчиваютъ тѣже профили, но только въ обратномъ порядкѣ. Выступы и впадины зубцовъ ограничиваются по дугамъ круговъ, концентрическихъ съ начальными окружностями. При выборѣ радиусовъ этихъ концентрическихъ окружностей руководствуются тѣмъ соображеніемъ, чтобы постоянно были въ заѣмлении *два пары зубцовъ*; при этомъ давленіе въ зубцахъ распределиться на двѣ пары зубцовъ, а не на одну, уменьшится ихъ толщина и увеличится число <sup>3)</sup>.

По вспомогательнымъ окружностямъ, начиная отъ точки А, откладываютъ длины АМ и АN, равныя шагу, и затѣмъ изъ центровъ начальныхъ круговъ описываютъ окружности, проходящія черезъ точки N и M эти окружности ограничатъ выступы зубцовъ. Предыдущее условіе будетъ соблюдено, ибо каждая пара зубцовъ выходитъ изъ заѣмления, когда слѣдующая приходитъ на линію центровъ, а слѣдующая за этою парою входитъ въ заѣмленіе. Для ограниченія впадинъ проводятъ окружности, концентрическія начальнымъ кругамъ, оставляя небольшой зазоръ между выступомъ верхняго колеса и впадиною нижняго.

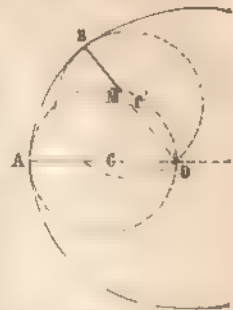
**42. Заѣмленіе съ плоскогранными впадинами.** Если диаметръ производящей окружности будетъ равенъ радиусу той начальной окружности, внутри которой онъ катится, то гипоциклоида обращается въ прямую линію, идущую по радиусу, а слѣд., впадины зубцовъ будутъ плоскогранныя, направленныя по радиусамъ. Дѣйствительно, возьмемъ два какихъ либо положенія вспомогательной окружности, напр., ОА и ОВ (фиг. 39). Пусть М будетъ про-

<sup>1)</sup> Величина шага наносится посредствомъ циркуля, въ который беретъ длина хорды дѣлительнаго круга соотвѣтствующаго шагу. Величина хорды опредѣляется попытками, рядомъ послѣдовательныхъ откладываній, пока хорда не уложится цѣлое число разъ на окружности.

<sup>2)</sup> Это вычерчиваніе профилей производится по шаблонамъ, которые изготовляются по профилямъ А, вычерченнымъ со всеръ точностью.

<sup>3)</sup> Увеличеніе числа зубцовъ на колесахъ вообще весьма выгодно, ибо съ увеличеніемъ его уменьшается работа тренія при равныхъ прочихъ обстоятельствахъ (§ 46).

изводящая точка. Дуги АВ и АМ равны между собою, но такъ какъ радиусъ первой вдвое больше радиуса дуги АМ, то число градусовъ, соответствующее первой, вдвое меньше числа градусовъ дуги АМ. Но уголъ при центръ АОВ, измѣряется дугою АВ, а уголъ при окружности АОМ измѣряется половиною дуги АМ; слѣд., оба эти угла АОВ и АОМ равны между собою, а потому прямая ОМ и ОВ совпадаютъ. Такъ какъ моментъ былъ выбранъ нами произвольно, то заключаемъ, что въ теченіе всего времени перемѣщенія вспомо- гательной окружности въ точки В производящая точка М будетъ оставаться на радиусѣ ОВ и, слѣд., гипотеноида МВ обратится въ прямую.



Фиг. 50.

**43. Заполненіе по развѣрткѣ круга (колеса Эйлера).** Про- ведемъ черезъ точку А (фиг. 51) какую либо прямую МN и, опустивъ изъ центровъ О, О' на эту линію перпендикуляры ОМ и О'N, опишемъ радиусами ОМ и О'N двѣ вспомо- гательныя окружности. Затѣмъ пока- тимъ линію АМ по вспомо- гательной окружности ОМ, а линію А'N по вспомо- гательной окружности О'N. Въ пер- вомъ случаѣ точка А опишетъ раз- вертку mAn, во второмъ развертку kA'N. Примемъ эти кривыя за очертающія про- филь зубцовъ (для выступовъ и впа- динъ одна и та же кривая). Обѣ эти кривыя сливаются при точкѣ А съ ду- гами круговъ, описанныхъ около мгно- венныхъ центровъ М и N, слѣд. линія MN будетъ обіею нормалью къ обѣмъ разверткамъ въ точкѣ ихъ соприкасанія А. Положимъ теперь, что колеса повер- нулись, на некоторый уголъ и зубья заняли положенія m'n' и k'l', и пусть m, кудетъ ихъ обіея точка соприкасанія въ этомъ новомъ положеніи. Въ точкѣ касанія обѣ кривыя имѣютъ обіею касательную и обіею нормаль, и нормали къ каждой изъ развертокъ должны быть касательны къ окружностямъ ОМ и О'N, на которыхъ находятся мгновенныя центры вращенія касательныхъ АМ и А'N, производящихъ развертки, слѣд., обіея нормаль къ разверткамъ при всякомъ положеніи сдѣлалю- щихся зубцовъ должна быть касательна къ направляющимъ окруж- ностямъ ОМ и О'N, а потому она постоянно совпадаетъ съ линіею



Фиг. 51.



**MN** Такимъ образомъ, разсматриваемыя профили будутъ удовлетворять основному условию правильности передачи.

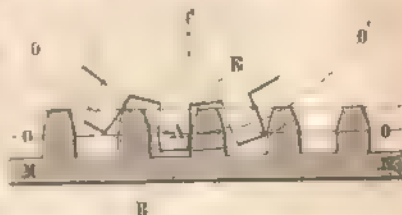
Порядокъ вычерчиванія Эйлерова зацепления тотъ же, что и при циклоидальномъ зацеплении. Проведа начальныя окружности, опредѣляющія зацѣпъ направлениемъ прямой производящей развертку, а вмѣстѣ съ тѣмъ и радиусы развертываемыхъ круговъ. Отъ угла наклона этой прямой къ линіи центровъ зависить форма зубцовъ. Чѣмъ острѣе будетъ уголъ ея наклона, т. е. чѣмъ меньше будетъ радиусъ развертываемаго круга, тѣмъ наклоните будетъ къ нему развертка, и, следовательно, тѣмъ острѣе будутъ зубцы, ею очерченный. Въ практикѣ дѣлають, обыкновенно, этотъ уголъ равнымъ или болѣе  $75^\circ$ . Окружности, ограничивающія выступы, находятся слѣдующимъ образомъ, при условии, чтобы въ зацеплении постоянно находились 2 пары зубцовъ, чертятъ профили зубцовъ въ разстояніи шага впередъ и за линіей центровъ и зацѣпъ проводятъ черезъ точки пересѣченія этихъ профилей съ производящею прямою **MN** (фиг. 31) концентрическія окружности, впадины ограничиваются совершенно также, какъ и въ энциклоидальномъ зацепленіи.

*Примечаніе.* Такъ какъ части энциклоиды, т. е. впадины и выступы, образующія профиль зубцовъ, вообще весьма коротки, то въ практикѣ для упрощенія вычерчиванія, замѣняютъ ихъ дугами круговъ, наиболѣе къ нимъ подходящихъ. Вычертивши точный профиль, подыскиваютъ, поименно, центры дугъ, проходящей по возможности черезъ всѣ точки точнаго профиля; черезъ эту точку проводятъ окружность, концентрическую съ начальною окружностью колеса. На этой окружности будутъ лежать центры всѣхъ дугъ, ограничивающихъ всѣ другіе зубцы.

**44. Сравненіе энциклоидальныхъ колесъ съ колесами Эйлера.** Зацепленіе по разверткѣ круга имѣетъ слѣдующія преимущества передъ энциклоидальными. 1) въ энциклоидальныхъ зубцахъ общія нормаль къ профилямъ зубцовъ постоянно замѣняетъ свой наклонъ къ линіи центровъ, а отъ этого происходитъ измѣненіе давленія въ зубцахъ и неравномерное ихъ истираніе. Это ясно изъ того, что давленіе въ зубцахъ можетъ быть разложено на двѣ составляющія: по касательной и по нормали, отъ послѣдней зависитъ истираніе зубцовъ. Если направленіе нормали колеблется, то нормальная составляющая непостоянна по величинѣ и направленію, именно она будетъ увеличиваться по мѣрѣ возрастанія угла нормали **AN** (фиг. 38) къ общей касательной начальнымъ окружностямъ. Край зубцовъ будутъ истираться болѣе, нежели ихъ среднія части, такъ какъ на краяхъ давленіе болѣе. Напротивъ, въ колесахъ Эйлера общія нормали всегда пересекаются линію центровъ подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, слѣд., нормальное давленіе въ зубцахъ остается безъ перемѣны во все время ихъ сѣзженія, а потому зубцы истираются равномерно и сохраняютъ форму своего профиля; 2) въ колесахъ Эйлера форма зуба на одномъ колесѣ не зависитъ отъ размѣровъ другаго, а потому одно колесо можетъ передавать движеніе сразу нѣсколькимъ колесамъ, равныхъ диаметровъ, если только зубцы на нихъ очерчены по разверткамъ съ однимъ и тѣмъ же угломъ наклона производящей линіи къ линіи центровъ и если шаги ихъ одинаковы. Колеса съ плоскостранными впадинами не обладаютъ этимъ свойствомъ. Для поясненія сказаннаго положимъ, что нужно сѣзнить три такіа колеса разныхъ диаметровъ. Для 1-го и 2-го колесъ, получимъ нѣмнѣ стнымъ способомъ для выступовъ энциклоиды, а для впадинъ радіальныя прямыя. Чтобы получить впадины на 3-мъ колесѣ нельзя, какъ это мы дѣлали, показать по 1-му и 3-му колесамъ кругъ съ радіусомъ, вдвое меньшимъ радіуса 3-го колеса, ибо при этомъ для выступа 1-го колеса получили бы двѣ различныя энциклоиды одну отъ 2-го и другую отъ 3-го колесъ, что, конечно, невозможно. Для избѣжанія этого, очевидно, произъ-

подный кругъ для 3-го колеса долженъ быть равенъ вспомогательной окружности 2-го колеса; но тогда зубцы 3-го колеса будутъ имѣть не плоскостныя, а гипоциклондальныя впадины, и, слѣд, не будетъ подобия въ формахъ зубцовъ на всѣхъ трехъ колесахъ. 3) Въ элипсоидальныхъ колесахъ всякое измѣненіе разстоянія центровъ колесъ, которое можетъ легко произойти отъ изгибания или дрожанія вала (вышей подшипниковъ), нарушаетъ правильность зацепленія, ибо тогда выступъ зубца одного колеса будетъ прикасаться не къ впадинѣ, а къ выступу зубца другого колеса, т. е. элипсоида будетъ соприкасаться съ элипсоидомъ, а не съ гипоциклоидою, какъ бы слѣдовало. Вслѣдствіе этого нарушается не только равномерный ходъ, но легко можетъ произойти поломка или заклинивание одного изъ зубцовъ. У колесъ же Эйлера въ этомъ случаѣ все таки развертка будетъ соприкасаться съ разверткой и, слѣд, правильность зацепленія колесъ не нарушится.

**45. Зубчатая рейка.** *Зубчатая рейка* наз. чугунная полоса NN (фиг. 52), снабженная зубцами. Рейка сцепляется съ зубчатымъ колесомъ и служитъ для преобразования вращательнаго непрерывнаго движенія въ прямолинейное непрерывное. Когда колесо сдѣлаетъ одинъ оборотъ, то рейка продвинется на длину начальной окружности колеса. Это зацепленіе можно разсматривать какъ частный случай зацепленія цилиндрическихъ колесъ, предполагая радиусъ начальной окружности одного изъ колесъ бесконечно большимъ тогда окружность его обращается въ прямую линію  $OO'$ , касательную къ начальной окружности другого колеса. Эта прямая наз. *начальной линіею* рейки. Размѣры выступа и впадины, какъ рейки, такъ и колеса, съ нею сцепленнаго, величина промежутковъ и пр. определяются совершенно такъ же, какъ и въ цилиндрическихъ колесахъ. Скорость  $v$  поступательнаго движенія рейки равна скорости на начальной окружности колеса, поэтому, называя буквою  $r$  радиусъ колеса и буквою  $\omega$  угловую скорость его, будемъ имѣть  $v = \omega r$ , откуда  $\frac{v}{\omega} = r = \text{Const}$



Фиг. 52.

Очертаніе зубцовъ при этомъ зацепленіи находится по правиламъ изложеннымъ для цилиндрическихъ колесъ, полагая радиусъ одного изъ колесъ равнымъ бесконечности. Чтобы получить элипсоидальное зацепленіе съ плоскостными впадинами должно покатыть вспомогательную окружность  $S$ , діаметръ которой равенъ радиусу начальной окружности  $OO'$ , внутри этой окружности и по прямой  $OO'$  въ первомъ случаѣ получимъ для впадины колеса  $OO'$  прямую  $AE$ , а во второмъ, для выступа рейки, *инволюту*  $AE$ . Діаметръ второй вспомогательной окружности, равный радиусу рейки, будетъ бесконечно великъ, т. е. эта окружность обратится въ прямую линію, совпадающую съ начальной линіею  $OO'$  рейки. Перекашивая ее по окружности  $OO'$ , получимъ для выступа колеса *развертку*  $AB$ , профили же впадины рейки будутъ прямыя, перпендикулярныя къ линіи  $OO'$ . Способъ очертанія по разверткамъ можетъ быть также принѣ-

вентъ и къ зубчатой полосѣ, но при этомъ, какъ легко видѣть, развертка круга ОМ (фиг. 51), радиусъ котораго безконечно великъ, обратится въ прямую, перпендикулярную къ МХ, и, слѣдовательно, профили зубцовъ рейки будутъ прямолинейные: зубцы эти будутъ имѣть форму трапеціи.

**46. Число зубцовъ на колесахъ; передаточное число.** Для правильности передачи вращенія зубья на обоихъ сѣбяющихся колесахъ должны имѣть не только определенное очертаніе, но должны быть разставлены въ совершенно ровномъ разстояніи одна отъ другаго, т. е. *величина шага зацепленія должна быть одинакова въ обоихъ сѣбящихся колесахъ*. Величина шага  $p$  определяется по условію прочнаго сопротивленія зубца изгибу, производимому давленіемъ въ зубцахъ.

*Если известны радиусы  $r$  и  $r'$  колесъ, то по данной величинѣ шага  $p$  можно определить числа  $m$  и  $m'$  зубцовъ на колесахъ; они выражаются частными отъ дѣленія начальныхъ окружностей на длину шага <sup>1)</sup>, т. е. будутъ равны:*

$$m = \frac{2\pi r}{p} \quad \text{и} \quad m' = \frac{2\pi r'}{p}, \quad \text{откуда} \quad \frac{m}{m'} = \frac{r}{r'},$$

т. е. *отношеніе числа зубцовъ равно отношенію радиусовъ колесъ; или такъ какъ  $\frac{r}{r'} = \frac{n'}{n} = \frac{\omega'}{\omega}$ , то:*

$$\frac{m}{m'} = \frac{n'}{n} = \frac{r}{r'} = k. \quad . \quad . \quad (9).$$

(Отношеніе числа оборотовъ шестерни ( $n'$ ) къ числу оборотовъ колеса ( $n$ ) какъ и въ ременнойпередачѣ, носитъ названіе *передаточнаго числа*, мы будемъ обозначать его по прежнему буквою  $k$ . Какъ видно изъ послѣднихъ равенствъ, передаточное число равно отношенію числа зубцовъ на большемъ колесѣ къ числу зубцовъ на шестернѣ.

Радиусы колесъ определяются, *при данномъ разстояніи  $d$  между осями колесъ, по формуламъ:*

$$r' = \frac{d}{1+k}, \quad r = kr'.$$

*Если же разстояніе  $d$  не дано, то для опредѣленія радиусовъ колесъ (зад. 18) должно быть назначено число зубцовъ на шестернѣ. Въ энциклопедальномъ зацепленіи (фиг. 38) число зубцовъ на шестернѣ не должно быть менѣе 12. На самомъ дѣлѣ, опытъ показываетъ, что для того чтобы давленіе на концѣ зубца, направленное по АН, не сдѣлалось слишкомъ значительнымъ, уголъ, образуемый нормалью АН съ линіей центровъ, долженъ быть болѣе 60°. Для этой предѣльной величины угла, дуга АН, равная*

<sup>1)</sup> Если это частное есть дробь, то должно взять ближайшее къ нему большее или меньшее цѣлое число.

шагу (§ 40), будет заключаться 6 разъ въ вспомогательной окружности, но начальная окружность шестерни будетъ содержать 12 шаговъ, следовательно, наименьшее число зубцовъ на шестернѣ равно 12. Точно также опытъ показалъ, что наименьшее число цѣлокъ на фонарной шестернѣ равно 6. Въ Эйлеровомъ зацѣпленнн уголъ наклопенія произвожденной линіи MN (фиг. 51) долженъ быть болѣе  $75^\circ$ . При этой предѣльной величинѣ угла, каждому шагу на начальной окружности шестерни будетъ соответствовать уголъ при центрѣ въ  $15^\circ$ ; следовательно наименьшее число зубцовъ на Эйлеровой шестернѣ равно 24.

Изъ практикѣ, при выборѣ числа зубцовъ на шестернѣ, пользуются слѣдующею таблицею <sup>1)</sup>.

Передаточное число к . . .	1;	2;	3;	4;	5;	6;	7;	8
Число зуб- цовъ м'	въ эпициклоид. зацѣпл.	33;	25;	22;	21;	19;	19;	18, 18
	» Эйлеровомъ	»	33,	32,	31;	31;	30,	30, 29

Выбравъ число зубцовъ м' на шестернѣ, находить число зубцовъ m на большемъ колесѣ по формулѣ:  $m = km$ . Замѣтить еще что числа зубцовъ слѣдуетъ дѣлать взаимнопервыми, т. е. надо наблюдать, чтобы они не были общими дѣлителями, тогда каждый зубецъ одного колеса послѣдовательно приходится въ соотвѣтствіе съ каждымъ изъ зубцовъ другого колеса, эгнмъ устранимется неравномерное истираніе зубцовъ, что всегда должно произойти, когда одинъ и тотъ же зубецъ одного колеса постоянно соотвѣтствуетъ одному и тѣмъ же зубцомъ другого колеса. Напр., если у одного колеса 10, а у другого 15 зубцовъ, то оба числа дѣлятся на цѣло на 5 и, слѣд., каждый зубецъ первого колеса будетъ соотвѣтствовать только съ тремя зубцами второго, а каждый зубецъ второго соотвѣтствуетъ только съ двумя зубцами первого. Если же сдѣлаемъ у первого колеса 11 зубцовъ, то каждый его зубецъ будетъ послѣдовательно соотвѣтствовать съ 15 зубцами второго колеса, и, слѣд., истираніе будетъ равномернѣе. Если вычисленное число зубцовъ будетъ число цѣлое, но не взаимнопервое съ числомъ зубцовъ шестерни, то это можно принять за число зубцовъ большаго колеса только въ такомъ случаѣ, когда требуется соблюдать совершенную точность въ заданномъ отношеніи чиселъ оборотовъ колесъ; въ противномъ случаѣ слѣдуетъ полученное число зубцовъ большаго колеса увеличить или уменьшить на одну единицу. Выбравши окончательное числа зубцовъ m и m' на обоихъ колесахъ, нужно вычислить точную величину передаточнаго числа k, которое должно вводить затѣмъ въ послѣдующія вычисленія въ намѣщенномъ видѣ.

*Примѣръ.* Положимъ, что требуется устроить зубчатую передачу между двумя паралл. валами, разстояние, между которыми равно 1,2 м., ведущій валъ дѣлаеть 30 обор., а рабочий 75 обор. въ мин. ( $k=2,5$ ), шагъ зацѣпления  $p=6$  сант. Разстояние между осями надо раздѣлить на двѣ части, обратно пропорціональныя числамъ оборотовъ. Радиусъ шестерни будетъ:  $r=1,2$ .

то  $0,343$  м., а  $r=1,2 - r = 0,857$  м. Число зубцовъ шестерни  $m = 0,343$   
то  $0,343$   
то  $0,343$  — 35,9, а  $m=k.35,9=89,75$ . Чтобы получать цѣлыя и взаимно-

Когда нѣтъ нужды въ особенной правильности движенія а требуется лишь приблизительную передачу, то можно взять число зубцовъ на шестернѣ и менѣе указанныхъ здѣсь чиселъ, но тогда въ зацѣпленіи будетъ находиться только одна пара зубцовъ.

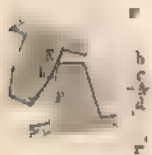
первыя числа надо измѣнить или разстояніе между валами или передаточное число. Положимъ, что можно измѣнить только передаточное число; примемъ на шестерни 36, а на другомъ колесѣ 89 зубцовъ. Тогда получимъ,  $\gamma = 1,2$   
 $\frac{36}{125} = 0,3456$  м. и  $\gamma = 0,8544$  м.;  $p = \frac{2\pi \cdot 0,8544}{89} = 6,03$  сантим., вмѣсто 6 с.

47. Давленіе и треніе въ зубцахъ. Треніе въ зубцахъ происходитъ вслѣдствіе скользящаго одного зуба по другому. Величина этого тренія равна  $fP$ , гдѣ  $f$  есть коэф. тренія, а  $P$  — нормальное давленіе въ зубцахъ. Направленіе этого давленія хотя измѣняется съ теченіемъ времени, но вообще мало отклоняется отъ направленія общей касательной къ начальнымъ окружностямъ колесъ. Поэтому въ дальнейшихъ вычисленияхъ мы будемъ считать это давленіе направленнымъ по общей касательной начальнымъ кругамъ.

Пусть  $N$  будетъ число паровыхъ лоп. передаваемое парюу зубчатыхъ колесъ,  $\gamma$  радіусъ шестерни,  $n$  — число ея оборотовъ въ минуту и  $v = \frac{2\pi n \gamma}{60}$  — скорость на начальныхъ окружностяхъ колесъ; тогда  $Pv = 75N$ , откуда

$$P = \frac{75.60}{2\pi} \cdot \frac{N}{\gamma \cdot n} = 716,56 \frac{N}{\gamma \cdot n} \text{ к.} \dots (10).$$

Путь, проходимый трениемъ въ зубцахъ при поворотѣ колеса на одинъ шагъ, т. е. когда два сближающіеся зуба отъ точки касанія  $A$  (фиг. 38) переходятъ къ точкѣ послѣдняго соприкосновенія  $N$ , равенъ дугѣ скользящаго  $PN$   $RN$  (§ 30), слѣд. работа тренія  $fP$  будетъ:  $fP(NP + RN)$ . Вмѣсто  $NP$  и  $RN$  можно весьма приблизительно взять ихъ проекціи  $bd$  и  $bc$  на линію центровъ (фиг. 53); когда  $NP + RN = Ac + Ad = \frac{Rc^2}{2r} + \frac{Pd^2}{2r} = \frac{p^2}{2} \left\{ \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right\}$ ,



Фиг. 53.

гдѣ полукорды  $Rc$  и  $Pd$ , по ихъ малости, замѣнены дугами, равными шагу зацепленія  $p$ . Искомая работа будетъ:  $T_f = fP \frac{p^2}{2} \left\{ \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right\}$ ; но  $\gamma = \frac{pm}{2\pi}$  и  $\gamma' = \frac{pm'}{2\pi}$  гдѣ  $\gamma$ ,  $m$  и  $m'$  суть радіусъ колеса и числа зубцовъ шестерни и этого колеса, поэтому:  $T_f = fP\pi \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right) p$ . Относя силу тренія къ начальной окружности, т. е. рассматривая ее какъ приложенную въ точкѣ касанія начальныхъ окружностей, получимъ:

$$F = f\pi P \left\{ \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right\} \dots (11)$$

Сила, необходимая для движенія рабочаго колеса, принимая во вниманіе треніе зубцовъ, будетъ:  $P = P + F = P \left\{ 1 + f \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right) \pi \right\}$ , т. е. въ  $1 + f\pi \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right)$  разъ болѣе, нежели безъ тренія. При зацепленіи колеса съ рейкою,  $\gamma = \infty$ ,  $\frac{1}{\gamma} = 0$ , и тогда:  $P = P + F = P \left( 1 + f\pi \frac{1}{m} \right)$ . Для внутренняго зацепленія:  $F = f\pi P \left( \frac{1}{m} - \frac{1}{m'} \right)$ .

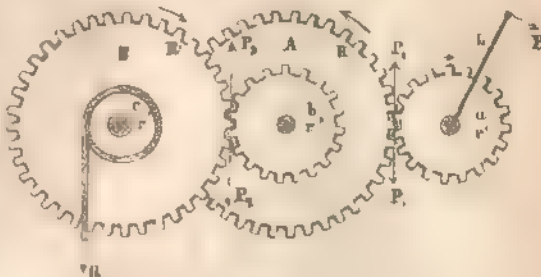
48. Сложныя зацепленія. Если отношеніе чиселъ оборотовъ ведущаго и рабочаго валовъ очень велико, то устройство простаго привода представляетъ большія неудобства, ибо тогда одно изъ ко-



лесъ выйдетъ огромныхъ размѣровъ. Въ подобныхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ устройству *сложныхъ зубчатыхъ приводовъ*, въ которыхъ между ведущими и рабочими валами помѣщаютъ одну или нѣсколько промежуточныхъ осей, параллельныхъ первымъ.

На фиг. 54 представленъ *сложный зубчатый приводъ съ одною*

*промежуточною осью*, на которой заклинены колесо А и шестерня в. Ведущая шестерня а сцепляется съ колесомъ А., заклиненнымъ на одной оси съ шестернею в, которая сцепляется съ колесомъ В, насаженнымъ на послѣдней оси с. Не трудно показать, что пере-



Фиг. 54.

даннымъ число равно отношению произведенія радиусовъ колесъ къ произведенію радиусовъ шестеренъ.

Дѣйствительно, пусть  $n, n', n''$  будутъ числа оборотовъ, наложъ  $a, b, c, B, R, R'$  и  $r, r', r''$  — радиусы колесъ А, В и шестеренъ а, в. По предыдущему, для простаго привода а и А имѣемъ:  $\frac{n}{n'} = \frac{R}{r}$ , для привода в и В.  $\frac{n'}{n''} = \frac{R'}{r'}$ . Перемноживъ первыя и вторыя части этихъ равенствъ и сокративъ получимъ

$$\frac{n}{n''} = \frac{RR'}{rr'} = k \quad \dots (12)$$

*Примѣръ.* Пусть имѣетъ сложный зубчатый приводъ съ двумя промежуточными осями, для котораго  $r = r'' = r = 10$  сант.  $R = 40$  с.,  $R' = 50$  с.,  $R'' = 25$  с.; тогда  $\frac{\omega'''}{\omega} = \frac{40 \times 50 \times 25}{10 \times 10 \times 10} = 50$ , т. е. первая шестерня будетъ вращаться въ 50 разъ быстрее послѣдняго колеса. Обратно, если желаютъ опредѣлить число зубцовъ вѣдлагаго колеса, при условіи, чтобы послѣднее колесо сдѣлало одинъ оборотъ въ то время, какъ первая шестерня сдѣлаетъ ихъ 50, нужно разложить полное передаточное число 50 на 3 множителя, напр.  $2 \times 5 = 5$ , или  $10 \times 2 = 20$  или еще  $4 \times 5 \times 2,5$ . Эти множители будутъ выражать частныя передаточныя числа для каждой пары колесъ. Пользуясь первою комбинаціею и принявъ число зубцовъ на первой шестернѣ по таблицѣ § 46 равнымъ 25 и на остальныхъ по 10, получимъ для колесъ послѣдовательно слѣдующія числа зубцовъ: 50, 95, 95. При этомъ будемъ имѣть:

$$\frac{\omega'''}{\omega} = \frac{50 \times 95 \times 95}{25 \times 10 \times 10} = 50,$$

49. Найдемъ теперь *отношеніе между движущею силою Р, дѣйствующею на плечѣ L и сопротивленіемъ Q, дѣйствующимъ на плечѣ r*.

Зубцы шестерни  $a$  производят давление  $P_1$  на зубцы сцепляющегося с ним колеса  $A$ . Это давление можно считать направленным по общей касательной к начальным окружностям колес. Колесо  $A$ , в свою очередь, оказывает противодействие  $P'$ , равное, прямопротивоположное и приложенное к шестерни  $a$ . Далее, шестерня  $b$  производит на зубцы колеса  $B$  давление  $P_2$ , встречая со стороны колеса сопротивление  $P'_2$ , равное и прямопротивоположное. *Для равномерной езды (при равномерном движении)* необходимо, чтобы сумма моментов сил, относительно каждой оси была равна нулю. Поэтому для равновесия на первом валу имеем (не принимая во внимание вредные сопротивления)  $PL = P_1r = 0$ , на втором,  $P_1R = P_2r = 0$  и на третьем,  $P_2R = P_3r = 0$ .

Из этих трех ур. находим:

$$P = Q \frac{r_1 r_2 r_3}{L R R'} \dots (13).$$

Из этого равенства видно, что при помощи зубчатых колес можно достигнуть *значительной выгоды от сил*. Напр., если  $r_1 = r_2 = 10$  см.,  $r_3 = 5$  см.,  $L = 40$  см.,  $R = R' = 25$  см. и  $P = 10$  килогр., то  $Q = 50P = 500$  кг. Из этого следует, что, несмотря на влияние трения во осях и зубцах колес, преодолеваемое сопротивление будет меньше вычисленного.

**50 Паразитные колеса** Если на каждой промежуточной оси сложного сцепления находится только по одному колесу, непосредственно сцепляющемуся с предыдущим и последующим колесами, то такие промежуточные (одиночные) колеса наз. *паразитными*, ибо они не имеют влияния на передаточное число между первым и последним колесами сложного привода это число будет то же самое, какое было бы при непосредственном сцеплении крайних колес. Действительно, пусть, напр., имеем сложное сцепление из  $t$  колес из коих 2, 3,  $t-1$  паразитных, и пусть числа зубцов их будут последовательно  $m_1, m_2, \dots, m_t$  а числа оборотов  $n_1, n_2, \dots, n_t$ . По предыдущему, для первых двух колес имеем:  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{m_2}{m_1}$ , для 2-го и 3-го  $\frac{n_2}{n_3} = \frac{m_3}{m_2}$ , для  $t-1$ -го и  $t$ -го  $\frac{n_{t-1}}{n_t} = \frac{m_t}{m_{t-1}}$ . Перемножая эти отношения найдем передаточное число  $k$  рассматриваемого сцепления,  $k = \frac{n_1}{n_t}$ .

Паразитные колеса имеют влияние лишь на направление вращения рабочего колеса при *нечетном* числе промежуточных колес: крайние колеса будут вращаться в одну сторону при *четном* и в разные стороны. Это обстоятельство можно принимать во соображение из случая, когда паразитные колеса ставятся с целью произвести сцепление двух колес, сумма радиусов которых меньше расстояния между осями (напр., в токарных станках, при установке паразитных колес в тиски, для сцепления длинной шестерни с задним колесом при нарезке винтов).

**51 Одометр** Какъ прихоть сложного сцепления, рассмотрим устройство обыкновенного счетчика (фиг. 55), употребляемого для счета числа шагов, оборотов какого либо вала и т. п. Этот прибор состоит из

одноплечаго рычага  $bcd$ , получающаго качательное движение отъ шнурка у Собачка  $f$ , прикрѣпленнаго къ рычагу, захватываетъ зубца храповою колеса  $g$ , причемъ при каждомъ размахѣ рычага поворачивается его на одинъ зубецъ. Пружинныя  $e$  и  $h$  служатъ первая для возвращенія рычага въ первоначальное положеніе, а вторая для нажатія собачки къ храповому колесу. Западная  $i$ , нажимаемая къ колесу  $g$  пружиной  $k$  дѣлаетъ невозможнымъ обратное движеніе этого колеса. Отъ шестерни  $g$ , имѣющей 5 зубцовъ и сидящей на одной оси съ колесомъ  $g$ , которое имѣетъ 10 зубцовъ, движеніе передается колесу  $a_1$ , съ 50 зубцами; отъ шестерни  $g$ , тоже съ 5 зубцами—колесу  $a_2$ , съ 50 зубцами, и наконецъ отъ послѣдней шестерни  $g$ , колесу  $a_3$ , имѣющему подобно остальнымъ колесамъ также 50 зубцовъ. На всѣхъ 4 осяхъ посажены стрѣлки, двигающіяся по циферблатамъ, раздѣленнымъ каждый на 10 частей. Одно дѣленіе 1-го (нижняго) циферблата соответствуетъ одному размаху рычага  $bcd$ , одно дѣленіе 2-го циферблата 10 размахамъ, 3-го 100 и 4-го 1000 размахамъ рычага  $bcd$ . Дѣленія эти снабжены соответственными цифрами. При пользованіи этимъ приборомъ какъ шагоизмѣръ его подвѣшиваютъ крючкомъ  $z$  къ петлицѣ одежды, а шнуръ, прикрѣпляютъ къ ногѣ, ниже колѣна. Подобнымъ же образомъ устроены счетныя водомѣры, газовыхъ часовъ и т. п. измѣрители.

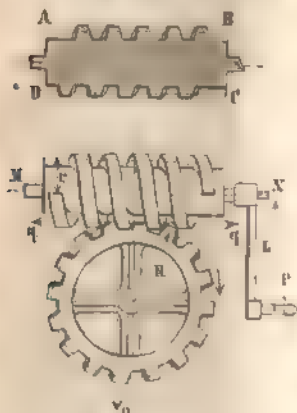


Фиг. 55

**52. Безконечный винтъ.** Винтъ, зацѣпляющійся съ зубчатымъ колесомъ, назъ *безконечнымъ винтомъ*. Механизмъ этотъ служитъ для передачи вращенія между двумя взаимно перпендикулярными осями, не лежащими въ одной плоскости.

Въ основаніи винтоваго зацѣпленія лежитъ зацѣпленіе зубчатой рейки съ колесомъ. Чтобы объяснить это, вообразимъ, что мы сообщимъ рейкѣ (фиг. 52) вращательное движеніе вокругъ оси, параллельной ей начальной линіи  $00$  и сверхъ того равномерное поступательное движеніе параллельно оси вращенія съ такою скоростью, чтобы въ теченіе одного оборота рейка продвинулась на длину ея шага. Всякая точка профиля рейки пройдетъ при этомъ винтовую линію, ходъ которой равенъ шагу рейки, а вся рейка приведетъ *безконечный винтъ*. Начальная прямая  $00$  рейки представляетъ цилиндръ, который назъ *начальнымъ цилиндромъ* винта. Если, что если поставить такой винтъ на мѣсто рейки и сообщить ему вращеніе, то онъ приведетъ во вращеніе колесо, зацѣпляющееся съ рейкою, если предположить, что толщина колеса безконечно мала, при этомъ передача будетъ проходить съ постоян-

нимъ отношеніемъ угловыхъ скоростей. На самомъ дѣлѣ, всякое сѣченіе винта плоскостью, проведенною черезъ его ось, представить двоякую рейку  $A B C D$  (фиг. 56), при вращеніи винта каждое сѣченіе его (рейка) будетъ приходить въ сѣченіе съ безконечно тонкимъ колесомъ, слѣд., всѣ послѣдовательныя сѣченія сообщатъ колесу непрерывное движеніе, какъ будто бы это была безконечная рейка, понятно, что если вращеніе винта равномерное, то и колесо будетъ вращаться равномерно.



Фиг. 56.

Въ дѣйствительности зубчатое колесо, сѣпляющееся съ винтомъ, должно имѣть известную толщину, достаточную для прочности колеса. Исно, что тогда поверхность зубцовъ колеса не можетъ быть произведена прямою, параллельною оси колеса. Для достиженія полнаго сѣпленія зубцы колеса должны имѣть форму винтовыхъ поверхностей, производимыхъ движеніемъ профиля зуба, по винтовой линіи, соответствующей нариску винта, такъ чтобы зубъ колеса сопрягались съ винтовой нарискою съ такою же точностью, какъ если бы это была нариска гайки. Такое зубчатое колесо наз. винтовымъ колесомъ.

Безконечный винтъ, описанный выше, имѣетъ одну нариску или будетъ имѣть два, три, четыре... показывающихъ одна отъ другой нариски, если въ течение одного оборота рейки, при обращеніи винта комбинаціей вращательнаго и поступательнаго движеній, рейка продвинется вдоль оси на длину удвоеннаго, утроеннаго, учетвереннаго... шага.

Изъ всего сказаннаго о винтовомъ зацепленіи слѣдуетъ, что если разрѣзать это зацепленіе плоскостью, проходящею черезъ ось винта и перпендикулярною къ оси колеса, то въ этомъ разрѣзѣ зубцы должны быть вычерчены какъ для случая сѣпленія рейки съ зубчатою шестернею (§ 45), принимая, что кругъ, полученный отъ разрѣза начальнаго катка винтоваго колеса, есть начальный кругъ шестерни и касательная къ нему прямая, полученная отъ разрѣза начальнаго цилиндра винта, есть начальная линія рейки. Если безконечный винтъ имѣетъ одну нариску, что бываетъ чаще всего, ходъ которой равенъ шагу колеса, то при одномъ оборотѣ винта, колесо повернется на одинъ зубецъ поэтому, означая буквами  $v$  и  $v'$  скорости на окружности винта и колеса,  $\omega$  и  $\omega'$ ,  $r$  и  $R$  ихъ угловыя скорости, средний радіусъ винта и радіусъ начальной окружности колеса, и  $h$  ходъ винта, получимъ  $v \cdot v' = \omega \cdot \omega' R = 2\pi : h$ , откуда

$$\frac{\omega}{\omega_1} = \frac{2\pi K}{h} - m. \quad (14)$$

т. е. отношение угловой скорости винта къ угловой скорости колеса равно числу зубцов на колесе.

Теорія безконечнаго винта въ связи съ трениемъ аналогична съ теоріей прямоугольнаго винта. Если назовемъ буквою  $\alpha$  уголъ подъема винта и буквою  $\varphi$  уголъ тренія, то могутъ представиться слѣдующіе три случая.

1)  $\alpha < \varphi$ ; шагъ винта очень малъ: винтъ ведетъ колесо; обратная передача невозможна. 2)  $\alpha \geq 90 - \varphi$ ; шагъ винта великъ: колесо ведетъ винтъ; обратная передача невозможна. 3)  $\varphi < \alpha < 90 - \varphi$ ; шагъ имѣетъ средній величину; передача взаимная.

53. **Винтовья колеса** (фиг. 57). Въ 1666 г. англ. уч. Гукъ устроилъ цилиндрическія колеса съ особаго вида зубцами, непараллельными оси, отличающіяся очень плавнымъ ходомъ при незначительной потерѣ работы на треніи въ зубцахъ.

Эти колеса можно воспроизвести изъ цилиндрическихъ колесъ слѣдующимъ образомъ. Вообразимъ, что мы разрывали обыкновенное цилиндрическое колесо плоскостями, перпендикулярными къ оси на  $n$  частей, которыя затѣмъ передвинули одну относительно другой на  $\frac{1}{n}$  часть шага. По-

лучимъ такъ наз. *ступенчатое колесо* <sup>1)</sup> Во время передачи движенія зацепленіе между парой такихъ зубцовъ будетъ совершаться ступеньками, переходя послѣдовательно отъ первой ступеньки ко второй, отъ второй къ третьей и т. д. Вѣдствие постепенности зацепленія ступенчатая колеса работаютъ очень спокойно, почему часто употребляются въ стро- гальныхъ станкахъ и другихъ плавноходящихъ машинахъ.

Вообразивъ безчисленное множество сѣченій, равномерно продвинутыхъ, получимъ *винтовья колеса*, представленныя на фиг. 57. Шаги и углы наклона зубцовъ у обоихъ колесъ одинаковы, но стороны наклона противоположны. Законъ же передачи тотъ же, что и у цилиндрическихъ колесъ.

Вѣдствие наклоннаго положенія зубцовъ во время передачи появляется боковое усиліе на зубецъ, стремящееся развести колеса. Для устраненія вліянія этого боковаго усилія Джаксонъ (въ Манчестерѣ) отливалъ колеса съ зубцами выгнутыми по срединѣ, такъ что каждое колесо представляетъ какъ бы два колеса Гука, составленныя основаніями. Подобныя колеса употребляются въ сталепрокатныхъ валькахъ.

54. **Дифференціальныя движенія.** При помощи сложныхъ зацепленій и сочетаній зубчатыхъ зацепленій съ винтовыми легко получаютъ такъ наз. *дифференціальныя движетя*. Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ подобныхъ зацепленій.



Фиг. 57

<sup>1)</sup> Такія колеса наз. также, по имени строителя колесами Уайта (White).



На фиг. 58 представлен механизм минутной и часовой стрелок. Колесо В, имеющее 12 зубцов, делает один оборот в час; на конец его оси укреплена минутная стрелка. При посредстве колес D и C, имеющих 54 и 18 зубцов, вращение передается колесу А, имеющему 48 зубцов. Это последнее надето на втулочку, которая охватывает концентрически ось колеса В. Легко видеть, что колесо А в 12 раз тише проработает, нежели колесо В, поэтому на его втулку укреплена часовая стрелка.



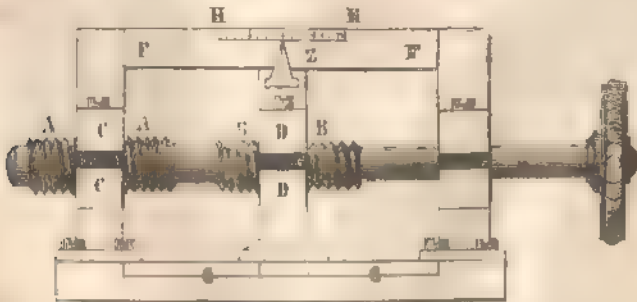
Фиг. 58

**55 Дифференциальный винт.** Механизм винта и гайки встречается очень часто в различных ставках. Как известно, при одном обороте винта, вращающегося в неподвижной гайке, он подвигается поступательно вдоль своей оси на один шаг. При этом он или *выскакивает* или *вмывается* из гайки. Чтобы определить, в какую сторону будет передвигаться винт, должно обратить внимание на род его *нарезки* и *сторону вращения*. Нарезка может быть *правая* и *левая*. Первая, если смотреть вдоль винта, поднимается *справа направо*, вторая — *слева направо*. На фиг. 56 нарезка правая. Должно принять за правило, если *вращать винт* с *правой нарезкой*, или *винт* в *возможности* двигаться *поступательно*, из *подвижной гайки*, по *часовой стрелке* (*гайка* *направо*), то *гайка* будет *выскакивать* *вдоль* *винта* *к* *рукоятке* или *к* *шпindelю* *колеса*, *вращающему* *винт*. Если при *этом* *шпindel* *неподвижна*, а *винт* *может* *двигаться* *поступательно*, то он будет *вмываться* *из гайки*. При *винте* с *левой нарезкой* произойдут *обратные* *явления*. Имели в виду это правило, не трудно определить в каждом частном случае сторону, в которую движется поступательно винт или гайка.

Во всех случаях отношение скорости  $v$  поступательного движения к угловой скорости  $\omega$  вращательного движения равно отношению *пуги*, пройденных в одно и тоже время, напр. в течение одного оборота, т. е. равно отношению шага  $h$  винта к длине окружности, радиус которой равен единице:  $v = \omega \cdot h : 2\pi$ , откуда

$$v = \frac{\omega h}{2\pi} \dots \dots (15)$$

В *дифференциальном винте* Прони (фиг. 59) винт имеет две *правые* *нарезки*, одна АА с шагом  $h$ , другая ВВ с шагом  $h < h$ . Первая



Фиг. 59.

помещается в неподвижной гайке С, между тем как вторая приводит в движение гайку D скользящую в пазах G и F. При одном обо-

рою винта этот последний продвигается влево на величину  $h$  (вместе с пазом  $D$ ) а в то же время гайка  $D$  продвигается *справа* на величину  $h$ . Так как  $h > h_1$ , то при одном обороте винта гайка  $D$  продвигается *справа* на величину разности шагов  $h - h_1$ ; следовательно, для скорости поступательного перемещения подвижной гайки получим выражение:

$$v = \frac{(h - h_1) \omega}{2\pi} \quad \dots (16)$$

Стрелка  $Z$ , прикрепленная к гайке, указывает на шкалу величину перемещения гайки  $D$ . Если напр. эта шкала разбита на миллиметры и если разность  $h - h_1 = 0,1$  мм., то стрелка при полном обороте винта пройдет путь в 0,1 мм., а при 0,1 оборота — в 0,01 мм.

Дифференциальный винт употребляется во многих физических и астрономических приборах и инструментах как для сообщения чрезвычайно малых (микрометрических) перемещений, так и для измерения очень малых предметов. Помощью подобного винта производится (в *оптических машинах*) масштаб с весьма мелкими делениями.

56 Фиг. 60 изображает *механизм для подачи сверла*. Цилиндр, который требует развертывания, неподвижен, сверло же вращается и в то же время должно иметь медленное поступательное движение *подачи* влево



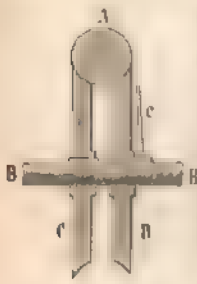
Фиг. 60

оси цилиндра. Вращательное движение сверла получает от рабочей шкивы при помощи пары цилиндрических колес, то и  $M$ , из коих последнее вышинею на валу  $a$ , на котором укреплен, шпираль *бегунка*  $C$  с зубцами. Прямой конус  $K$  вала  $a$  снабжен нарезкою и проходит через гайку  $E$ , которая может вращаться в своей стойке в ту же сторону, что и винт  $K$ . Вращательное движение ей сообщает колесо  $B$ , укрепленное на гайке и сцепляющееся с колесом  $A$ , заключенным на конце нижнего передаточного вала  $П$ . Этот же валу укреплено другое зубчатое колесо  $A'$ , сцепляемое с колесом  $A$ , заключенным на валу  $a$ . Колесо  $A$  может скользить по длинной шпонке, по мере продвижения колеса  $A$  вместе с валом  $a$ .

Если бы гайка  $E$  была неподвижна, то при одном обороте вала  $K$ , сверло поднялось бы (при вращении шкива по часовой стрелке) *справа* на длину шага  $h$  винта  $K$ , но, вследствие существования передачи  $AA' - BB$  гайка при одном обороте винта  $K$  повернется на часть оборота, равную  $\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2}$ , где  $k_1$  и  $k_2$  суть передаточные числа зубчатых пар  $AA'$  и  $BB$ . Таким образом, вследствие собственного вращения *справа* на длину шага  $h$  винта  $K$  (с правой нарезкою) вывинтится из гайки на длину  $h$ , а вследствие вращения гайки  $E$  (также *справа* - *направо*) он вывинтится на длину  $\frac{h}{k_1 k_2}$ , и, следов., подача сверла при одном обороте вала будет

равна  $h \left(1 - \frac{1}{k_1 k_2}\right)$ . Разность  $1 - \frac{1}{k_1 k_2}$  может быть сделана, соответствующим выбором передаточных колес, как угодно малою, независимо от размеров вала  $a$  и винта  $K$ . Напр., если  $h = 0,5''$ , а числа зубцов колес  $A = 36$ ,  $A' = 37$ ,  $B = 36$  и  $B' = 36$ , то подача будет равна  $\frac{1}{74}''$ .

**57. Счетчик Воластопа (фиг. 61).** Механизм этот служит для определения числа оборотов быстровращающихся валов. Винт  $A$  укреплен на конце вала, число оборотов которого желать определить, и ведет два колеса  $C$ ,  $D$ , из конх, перпендикулярном к валу винта, а второе имеет 101 зубец и надето вольно на валу  $B$ . Это последнее колесо снабжено циферблатом, перед которым движется стрелка  $E$ , укрепленная на валу  $B$ . Конечно, что оба колеса вращаются в одну сторону, причем циферблат делает один оборот при 101 обороте винта, между тем, как колесо  $C$  со стрелкою в это же время успеет сделать полный оборот и еще повернется на один зубец. Так как при каждых 101 обор. винта колеса  $C$  повернется на один зубец, то ясно, что полный оборот стрелки составляет по циферблату лишь по совершенный винтом 10100 оборотов.



Фиг. 61.

**58. Эпиклические зацепления.** Эпиклическими <sup>1)</sup> наз. такіа зацепления, в которых оси нескольких зубчатых колес укреплены на рычаге, вращающемся около некоторой неподвижной оси.

Пусть  $\omega_0$  будет по величине и по знаку абсолютная угловая скорость рычага (1), фиг. 63, на котором укреплены оси подвижных колес, а  $\omega_1$  и  $\omega_2$  — угловые скорости по величине и по знаку двух сцепляющихся колес ( $A$  и  $B$ ), оси которых параллельны оси рычага и из конх одно ( $B$ ) укреплено на рычаге. Колеса эти кроме абсолютной угловой скорости будут обладать каждое некоторою относительною скоростью, взятою по отношению к рычагу. Для определения этих относительных скоростей мы можем, не изменяя их, сообщить всем телам одинаковое движение, напр. такое вращательное движение, угловая скорость которого равна и противоположна угловой скорости абсолютного движения рычага. Тогда рычаг останется в покое, а составные движения колес  $A$ ,  $B$  и будут некоторыми относительными движениями. Именно, относительная угловая скорость колеса  $A$ , как известно из теоретической механики, будет равна разности  $\omega_2 - \omega_0$ , ибо оно вращается в одну сторону с рычагом; а относительная угловая скорость колеса  $B$  будет равна сумме  $\omega_1 - \omega_0$ , так как оно вращается в сторону, противоположную рычагу. Но предполагая рычаг неподвижным, мы можем эпиклические зацепления рассматривать как обыкновенные колеса, вращающиеся с относительными скоростями  $\omega_2 - \omega_0$  и  $\omega_1 - \omega_0$ , ибо скорости на окружности колес равны между собою. Поэтому, по предыдущему, может написать:

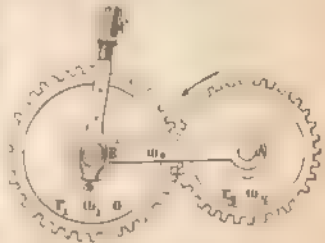
$$\frac{\omega_2 - \omega_0}{\omega_1 - \omega_0} = \frac{r_1}{r_2} = k \quad (a)$$

<sup>1)</sup> Название это происходит от того, что при движении рычага вместе с колесами различные точки последних описывают двукривые кривые. Исчерпание рассматриваемых зацеплений приписывается Гриму (1715).

где  $r_1$  и  $r_2$  суть радиусы колесъ В и А, а слѣд.,  $k$  есть передаточное число. Эта формула заключаетъ въ себѣ всю теорію эпициклическихъ зацеплений. При пользованіи ею должно величинамъ угловыхъ скоростей  $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots$  приписывать знакъ (+), если вращеніе положительное (т. е. происходитъ по часовой стрѣлкѣ), и знакъ (-) въ случаѣ отрицательнаго вращенія (противъ часовой стрѣлки).

Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ эпициклическихъ зацеплений

**59. Планетарій Уатта** (этотъ механизмъ придуманный Уаттомъ для передачи движенія отъ балансира своей паровой машины валу маховика, состоитъ изъ двухъ колесъ А и В (фиг. 62), центры которыхъ удерживаются на неизмѣнномъ разстояніи одинъ отъ другаго посредствомъ тяги АВ. Колесо А заклинено на валу маховика, тяга АВ надѣта на него свободно, а колесо В скрѣплено съ шатуномъ ВС. Такъ какъ послѣдній остается чувствительнъ онъ параллельнымъ самому себѣ, то можно вывести, что колесо В имѣетъ *поступательное* круговое движеніе вокругъ колеса А.



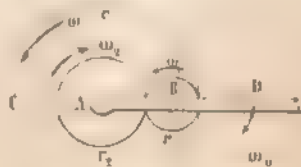
Фиг. 62.

Если  $r_1, r_2, \omega = 0, \omega_2$  и  $\omega_0$  будутъ радиусы колесъ В и А и угловыя скорости колесъ и тяги, то по формулѣ (а) будемъ имѣть

$$\omega_2 - \omega_0 = \frac{r}{r_2} \quad \text{или} \quad \omega_2 - \omega_0 \left(1 + \frac{r}{r_2}\right). \quad \text{Если } r_1 = r_2, \text{ то } \omega_2 = 2\omega_0,$$

т. е., маховикъ вдвое скорѣе вращается нежели кривошипъ.

**60. Конный приводъ Баррета** (фиг. 63) На вертикальномъ валѣ заклинено колесо А къ надѣтъ волею рычагъ D (соединенъ къ которому прикрѣпается лошади) въ которой укрѣплена ось колеса В. Это послѣднее зацепляется какъ съ колесомъ А такъ и съ третьимъ колесомъ С съ внутренними зубцами концентрическими съ колесомъ А, но неподвижнымъ.



Фиг. 63

Пусть  $r, r_1, r_2, \omega, \omega_1, \omega_2$  и  $\omega_0$  будутъ радиусы и абсолютныя угловыя скорости колесъ и подшта. Тогда для колесъ А и В по формулѣ (а):

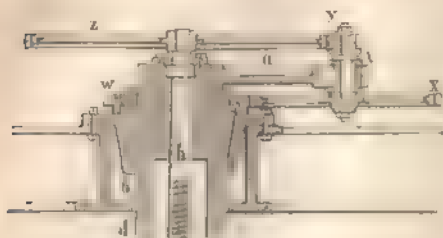
$$\omega_2 - \omega_0 = \frac{r}{r_1}; \quad \text{а для колесъ В и С.} \quad \omega_1 - \omega_0 = \frac{r}{r_2} \quad \text{откуда}$$

$$\omega_2 = \omega_0 \left[1 + \frac{r}{r_2}\right] = \omega_0 \frac{r}{r_2}, \quad \text{или, обмѣнявая знаки скоростей (§ 54),}$$

$$\omega_2 = \omega_0 \left[1 - \frac{r}{r_2}\right] = \omega_0 \frac{r}{r_2}.$$

Если  $\omega = 0$  (какъ мы предполагали), то  $\omega_2 = \omega_0 \left(1 + \frac{r}{r_2}\right) = 2\omega_0 \left(1 + \frac{r}{r_2}\right)$ , а при  $r = r_2, \omega = 4\omega_0$ . Т. е. въ то время, пока лошадь съѣзжаетъ одинъ кругъ, валъ повернется четыре раза.

61. На фиг. 64 изображенъ такъ называемый *планетный механизм*, устраиваемый въ вертикальныхъ цилиндросверлильныхъ станкахъ для совершенія *подачи* сверла по длине цилиндра для снятия непрерывной стружки.



Фиг. 64.

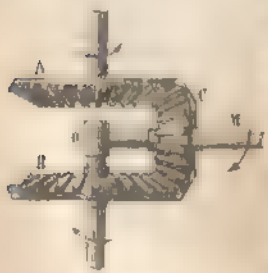
Винтъ *h* проходитъ внизъ сквозь гайку, укрѣпленную въ рѣзцовой коробкѣ (бакшъ §51), которая при вращеніи винта перемѣщается вмѣстѣ съ гайкою вдоль цилиндра. Винтъ *h* заключенъ внутри вертикальнаго пустотѣлаго вала *d*, на которомъ укрѣплена коробка съ рѣзцами и который снабженъ продольною щелью, допускающею передвиженіе гайки съ коробкою вдоль вала во время его вращенія; въ этомъ посту-

пательномъ движеніи рѣзцовой коробки валъ *d* участія не принимаетъ.

Передача медленнаго вращенія отъ вала *d* винту *h* производится слѣдующимъ образомъ. На верхнемъ концѣ вала *i* зашпиленъ кривошипъ *u*, несущій два колеса: шестерню *x*, сцепляющуюся съ колесомъ *z*, зашпиленнымъ на верхнемъ концѣ винта *h*, и колесо *x*, сцепляющееся съ колесомъ *w*, концентрическимъ съ валомъ *d*, но укрѣпленнымъ не къ нему, а къ станку. При такомъ устройствѣ, вращеніе вала *d* сообщается кривошину *u* при чемъ колесо *x* будетъ катиться по колесу *w*, обуславливая въ которое относительное движеніе пуговки кривошипа *u* и шестерни *y* по отношенію къ кривошину. Это относительное движеніе сообщается загнѣмъ колесу *z*, а слѣд., и винту *h*.

*Примеръ.* Если ходъ винта *h* = 18 мм. число зубцовъ колеса *w* равно 84, колеса *x* — 112, колеса *z* — 180 и шестерни *y* — 12, то при одномъ оборотѣ вала *d* винтъ *h* дѣлаетъ  $\frac{84}{112} \cdot \frac{180}{12} = 10,5$  оборота слѣдовательно, относительно вала *d* и винтъ *h* вращается на  $\frac{1}{20}$  часть оборота (отстаетъ), а потому гайка съ рѣзцомъ *h* къ концу *h* продвинется при одномъ оборотѣ вала *d* лишь на 0,8 мм.

62. Эпиклицическая зашпилька могутъ быть составлены не только изъ цилиндрическихъ, но и изъ *эллиптическихъ* колесъ. Въ механизмѣ представленномъ на фиг. 65, два коническихъ одинаковыхъ колеса *A, B*, зашпиленныхъ на двухъ концентрическихъ валахъ, сцепляются съ шестерней *C*, свободно надѣтою на рычагѣ *M*. По формулѣ (а) для колесъ *A* и *B* имѣемъ:



Фиг. 65.

$$\omega_1 = \omega_0 = 1, \text{ откуда (принявъ во вниманіе знаки)} \\ \omega_2 = \omega_0 \\ \omega_1 = 2\omega_0 = \omega_2.$$

Если  $\omega_0 = 0$ , т. е. рычагъ *M* неподвиженъ, то  $\omega_1 = -\omega_2$  если же  $\omega_2 = 0$ , т. е. колесо *B* неподвижно, то валъ колеса *A* вращается со скоростью  $2\omega_0$  вдвое большую скорости вращенія рычага и

при томъ въ одну съ нимъ сторону.

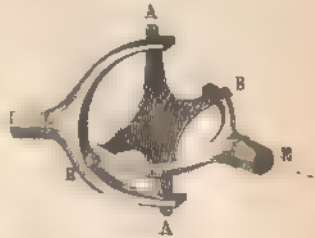
63 **Шарниръ Гува** Этотъ механизмъ, извѣстный также подъ именемъ *цилиндрическаго шарнира*<sup>1)</sup>, служитъ для передачи враще-

<sup>1)</sup> Изобрѣтены этотъ механизма принадлежать итальянцу Cardano (1501 1576), а практиче кое примѣненіе было дано ему англ. Ноксомъ (1635 — 1702).



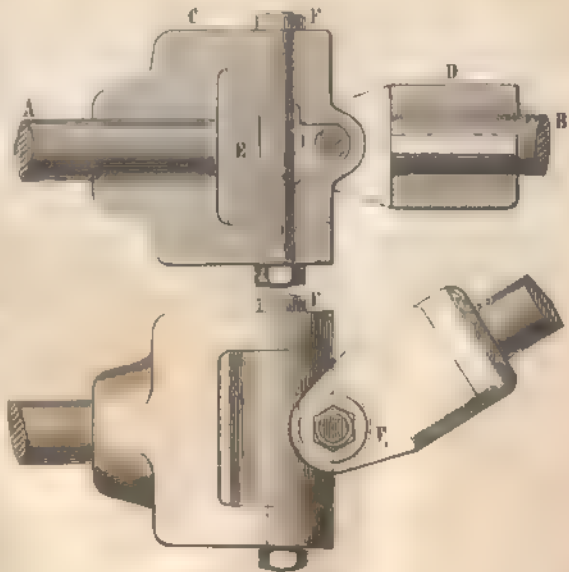
ни между двумя осями, пересекающимися под тупым углом, изменяющимся во время передачи.

Шарнир Гюка, в простейшем виде, состоит из прямоугольного креста АВАС (фиг. 66), по концам которого загочены цапфы. Цапфы помещаются в гнездах, сделанных в вилках, которыми оканчиваются валы, направления осей пересекаются в центре С креста. При вращении одного из валов крест вращается и заставляет вращаться другой вал, так что при одном обороте вала D, другой вал делает также полный оборот; но отношение скоростей не остается постоянным в течение оборота, т. е. передача происходит неравномерно.



Фиг. 66.

На фиг. 67 изображена конструкция шарнира Гюка, часто встречающаяся на практике. На концах валов А и В заклинены втулки С и D с вилками, сквозь которые пропущены два болта F, F<sub>1</sub>, образующие прямоугольный крест при посредстве соединительной трубки Е.



Фиг. 67.

Шарнир Гюка употребляется нередко в мастерских для соединения частей передаточного вала, имеющего значительную длину. Установка длинного вала на большом числе подшипников, представля-

ет весьма трудную задачу при малейшем изменении в положении подшипников, что может произойти, например, вследствие неправильного оседания частей строения, может нарушиться правильная установка вала и самая передача сделается невозможной. Для избежания этого валы составляют из частей, которые

соединяются между собою при помощи шарнира Гукса. Такъ какъ углы, образуемые двумя смежными частями вала, немного отличаются отъ  $180^\circ$ , то отношеніе скоростей валовъ будетъ мало отличаться отъ единицы. Въ Голландіи шарниръ Гукса употребляется для передачи движенія отъ вѣтряной мельницы архимедову винту, которымъ пользуются въ работахъ по осушенію мѣстности. Въ сельскохозяйственныхъ машинахъ универсальный шарниръ употребляется для передачи вращенія отъ машиннаго двигателя (конный приводъ или локомобиль) къ рабочимъ машинамъ (вѣялки, молотилки и т. п.).

**64** Вычисленіе показываетъ что отношеніе  $\frac{\omega}{\omega'}$  угловыхъ скоростей валовъ D и E измѣняется въ теченіе одного оборота въ предѣлахъ отъ  $\cos \alpha$  до  $\frac{1}{\cos \alpha}$ , гдѣ  $\alpha$  есть уголъ между осями. Предѣлы эти будутъ тѣмъ шире, чѣмъ ближе уголъ  $\alpha$  къ  $90^\circ$ , и, напротивъ, тѣмъ уже, чѣмъ ближе уголъ къ  $0^\circ$ . Напр., при  $\alpha = 30^\circ$  это отношеніе измѣняется въ предѣлахъ отъ 0,866 до 1,155, при  $\alpha = 15^\circ$  въ предѣлахъ отъ 0,966 до 1,035, при  $\alpha = 5^\circ$  отъ 0,996 до 1,004. Если  $\alpha = 0^\circ$ , т. е. если оси лежатъ одна на продолженіи другой, то  $\frac{\omega}{\omega'} = 1$  и слѣд., оба вала вращаются совершенно одинаково.

Такимъ образомъ, измѣненіе отношенія скоростей тѣмъ меньше, чѣмъ ближе уголъ DCE къ  $180^\circ$ . Передача становится уже возможна, какъ только этотъ уголъ болѣе прямого; отсюда названіе *универсальной*, данное этому шарниру.

Но если уголъ  $\alpha$  равенъ  $90^\circ$  ( $\frac{\omega}{\omega'}$  измѣняется въ предѣлахъ отъ 0 до  $\infty$ ),

то передача становится невозможною, ибо, при постоянной скорости одного вала, скорость другого должна измѣняться отъ 0 до  $\infty$ , т. е. другой валъ долженъ во временахъ вращаться въ безконечное число разъ быстрее перваго, а во временахъ долженъ совершенно останавливаться, что конечно, невозможно.

Если уголъ между осями прямой или близокъ къ прямому, то для передачи вращенія пользуются вспомогательною осью, имѣющею назначеніе замѣнить прямой уголъ тупымъ. Такое устройство носитъ названіе *одноточаго шарнира Гукса*. Движеніе вала D передается при помощи шарнира C вспомогательной оси E, которая въ свою очередь передаетъ его при посредствѣ своего шарнира третьей оси.

**65 Храповыя колеса.** Храповыя колеса употребляются для преобразованія круговаго качательнаго движенія въ круговое перемежающееся. Храповое колесо представляетъ цилиндрическое зубчатое колесо съ несимметричными зубами, скошенными въ одну сторону. Съ передней стороны зубцы ограничены радиальными плоскостями, а съ задней — вышуклыми поверхностями. Храповыя колеса бывають *простого* и *обойнаго* дѣйствія.

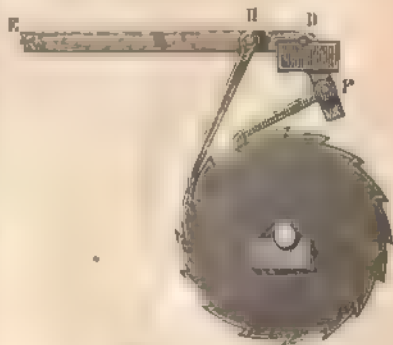
На фиг. 64 представлено храповое колесо *простого дѣйствія*. Необходимую принадлежность его составляетъ *собачка* или криво-

чекъ, одинъ конецъ котораго прикрѣпленъ на шарнирѣ къ рычагу AC, а другой захватываетъ за зубцы колеса; собачка постоянно прижата къ колесу небольшою пружиною. Одинъ конецъ рычага укрѣпленъ вольно на оси храповика, а на другой дѣйствуетъ движущая сила. При нажатии конца A рычага книзу собачка подвинетъ колесо по направлению стрѣлки на одинъ или нѣсколько зубцовъ, но при обратномъ ходѣ рычага собачка будетъ только скользить по зубцамъ храповика, въ движениіе котораго наступитъ перерывъ до слѣдующаго размаха рычага.



Фиг. 68.

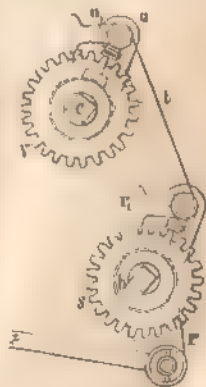
Въ храповомъ колесѣ двойного дѣйствія (фиг. 69), движеніе происходитъ безъ большихъ паузъ, хотя остается перемежающимся. Этимъ имѣютъ колеса двѣ собачки AII и FG. При движеніи рычага внизъ и вверхъ колесо поворачивается на нѣсколько зубцовъ попеременно дѣйствіемъ то одной, то другой собачки.



Фиг. 69.

Храповыя колеса встрѣчаются во многихъ машинахъ; напр., въ *строгальныхъ станкахъ для боковой подачи обстругиваемого предмета, въ сверлильныхъ станкахъ для подачи сверла и т. д.*

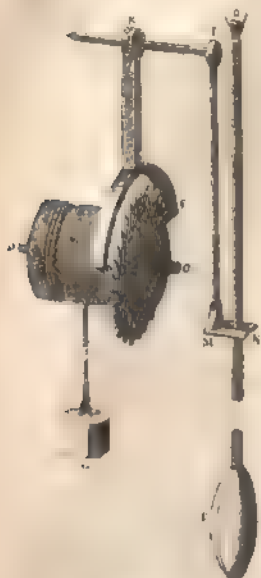
На фиг. 70 представленъ храповой механизмъ простаго дѣйствія, устраиваемый въ *поперечно-строгальныхъ станкахъ* для сообщенія прерывистаго движенія шпиль валамъ b и c. Рычагъ a получаетъ качательное движеніе влѣво — вправо отъ главнаго вала станка и при помощи колеблющаго рычага r съ собачкою z, и соединительной тяги t съ рычагомъ u и собачкою u, преобразуетъ это движеніе въ прерывистое движеніе колесъ x и y заклиненныхъ на концахъ валовъ b и c. Для прекращенія вращенія какого-либо изъ валовъ, стоитъ лишь откинуть соответствующую собачку.



Фиг. 70

66. Въ регулирующемъ механизмѣ стѣнныхъ часовъ существенную часть составляетъ храповое колесо AB (фиг. 7.) наз. *спусковымъ*, такъ какъ при помощи его достигается равномерно периодическое опусканіе гири z, слу-

жашей двигателемъ для всего механизма. На зубцы этого колеса надѣваются два крючка Е и Г якоря ЕКГ, ось котораго (КЛ) соединена при помощи вилки LMN съ секунднымъ маятникомъ Р, играющимъ роль



Фиг. 71.

регулятора въ рассматриваемомъ механизмѣ. Когда маятникъ находится въ своемъ среднемъ положеніи, то оба крючка стоятъ между зубцами спускнаго колеса и при томъ такъ, что одинъ крючекъ (Е) упирается въ переднюю поверхность одного зубца, а другой касается задней поверхности другаго зубца. Хотя при этомъ колесо побуждается къ вращенію вѣсомъ гири (обыкновенно при посредствѣ системы зубчатыхъ колесъ, служащихъ для передачи движенія минутной и часовой стрѣлкамъ), но крючекъ Е, упирающийся въ зубецъ спускнаго колеса, не позволяетъ ему вращаться. Если теперь отвести маятникъ въ сторону, такъ чтобы крючекъ Е сошелъ съ передней грани зубца, то колесо начнетъ вращаться, пока не натрѣется съ другимъ крючкомъ, который задержитъ его на мигъ, но въ тотъ же моментъ маятникъ, начавъ новый размахъ, отведетъ крючекъ въ сторону, причемъ спускное колесо дѣйствительно снова повернется на тотъ же уголъ <sup>1)</sup>. Такимъ образомъ, при помощи маятника и спускнаго колеса достигается преобразование равноускореннаго движенія гири въ равномерно-периодическое вращеніе вала Д<sup>2</sup> и всего часового механизма. Дѣйствіемъ ударовъ зубцовъ о крючки поддерживается колебательное движеніе маятника, безъ чего послѣдній, вращаясь самъ собою, остановился

бы скоро вълѣдствіе тренія оси и сопротивленія воздуха.

### ЗАДАЧИ.

16. Даны числа оборотовъ  $n$  и  $n'$  цилиндрическихъ катковъ и разстояніе  $d$  между осями. Найти радиусы катковъ.

17. Найти отношеніе скоростей поднимаемаго груза и точки приложенія движущаго усилия на воротахъ винтъ и наклонной плоскости. Дано 1) радиусъ вала ворота  $r$  и длина рукоятки  $L$ ; 2) ходъ винта  $h$  и длина рукоятки  $L$ ; 3) высота наклонной плоскости  $h$ , длина  $l$  и основаніе  $a$ .

18. Данъ разстояніе между осями двухъ зубчатыхъ колесъ  $d = 0.52$  м., шестерня имѣетъ 11 зубцовъ, другое колесо 60 зубцовъ и дѣлаетъ 48 оборотовъ въ минуту. Определить радиусы колесъ и число оборотовъ шестерни.

19. Водяное колесо, радиусъ котораго 2,2 м. и скорость на окружности 2 м. ообщаетъ движеніе передаточному валу, дѣлающему 60 оборотовъ въ

<sup>1)</sup> Тоащина крючковъ дѣлается равною <sup>1</sup>/<sub>2</sub> разстоянія между зубцами, слѣд. при каждомъ размахѣ маятника колесо повернется на величину, равную <sup>1</sup>/<sub>2</sub> разстоянія между зубцами, а если число зубцовъ на колесѣ 30, то оно сдѣлаетъ полный оборотъ, когда маятникъ совершитъ 60 размаховъ, т. е. въ одну минуту.

минуту, при помощи пары зубчатых колесъ изъ которыхъ большее имѣетъ радиусъ 1,6 м. Опредѣлить радиусъ шестерни передаточнаго вала и расстояние между передаточною осью и валомъ привинка.

20. Зубчатое колесо имѣетъ 100 зубцовъ и дѣлаетъ 5 оборотовъ въ мин., оно сцепляется съ шестерней, имѣющею 9 зубцовъ изъ оси послѣдней передается второе колесо съ 80 зубцами, сцепляющее движение второй шестерни, имѣющей 11 зубцовъ третье колесо сидящее на одной оси съ этой шестерней, снабженъ 60 зубцами и въ свою очередь зацепляется третью шестерню съ 13 зубцами. Найти число оборотовъ и угловую скорость послѣдней.

21. Дано расстояние между 2 валами 10 фут., передаточное число  $k=5$ . Опредѣлить радиусы колесъ.

22. Дано число паровъ лошадей  $N$ , передаваемыхъ отъ вала одного колеса валу другому, число оборотовъ  $n$  въ мин. шестерни и передаточное число  $k$ . Опредѣлить радиусы  $R$  и  $r$  колесъ, ширину зацепления  $p$  и толщину  $e$  зуба.

23. Даны  $N, k$  и расстояние  $d$  между осями колесъ. Опредѣлить радиусы шага зацепления и число зубцовъ колесъ.

24. Найти  $18$  задъ при слѣдующихъ данныхъ:  $N=18$ ,  $n=70$  и  $k=2,1$  (вычисленіе эллипсоидальное).

25. Одинъ колесо передаетъ работу въ 25 паръ л. при помощи пары цилиндровъ колесъ, расстояние между валами колесъ и передаточное число 4. Колесо дѣлаетъ 10 обор. а передаточный валъ долженъ дѣлать 55 обор. въ мин. Опредѣлить давление въ зубахъ и число ихъ.

26. Опредѣлить потерю работы въ сек. на трение въ зубахъ шестерней колесъ, при давленіи удельныхъ давленіе въ зубахъ  $P=350$  Кг., радиусъ ведущаго колеса  $r=0,3$  м., число зубцовъ на немъ  $m=150$ , число зубцовъ шестерни  $n=60$ ,  $f=0,08$  и число оборотовъ колесъ  $n=50$ .

27. Посредствомъ пары зубчатыхъ цилиндрич. колесъ должно быть передано рабочему валу 20 паръ л. лошадей, числа зубцъ въ колесъ 180 и 60,  $f=0,11$ . Опредѣлить потерю работы на трение въ зубахъ (въ секунду).

28. Полезная работ. машины равна 6 пар. л. числа зубцовъ колесъ 108 и 24. Какая часть этой работы передается рабочему валу?

29. Найти отъ шестерни между движущею силой  $P$  и поднимаемымъ грузомъ на червякъ (фиг. 56), принимая изъ расчета трение между наружнымъ винта и зубцами колесъ, обозначенія  $r$  радиусъ винта  $L$  длина рукоятки,  $p$  пасмо груза  $R$  радиусъ колесъ,  $b$  ходъ винта,  $\alpha$  уголъ подъема винта и  $f$ —коэфф. трения.

Численный примѣръ.  $Q=50$  пуд.,  $p=10''$ ,  $L=18''$ ,  $R=20''$ ,  $b=2''$ ,  $\tan \alpha=0,1$ ,  $f=0,15$ .

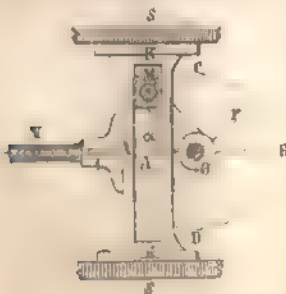


## ГЛАВА III.

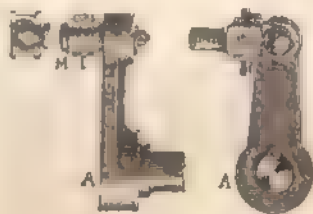
## Передача движения при посредствѣ промежуточныхъ твердыхъ тѣлъ.

Механизмъ кривошипа и ползуна. — Механизмъ кривошипа и шатуна. — Крейц копіе и параллели. — Теорема Шли. — Отношеніе скоростей пугонки и шатка, вліяніе длины шатуна, мертвыя точки. — Кратные кривошипы колѣнчатый валъ. — Круглый эксцентрикъ. — Сердцеvidный эксцентрикъ. — Кулачковый эксцентрикъ. — Механизмъ коромысла, шатуна и кривошипа. Направленіе при параллелограммѣ. — Сокращенный параллелограммъ Уатта. — Полный параллелограммъ Уатта — Задачи.

**67 Механизмъ кривошипа и ползуна.** (Фиг. 72) Механизмъ этотъ представляетъ одинъ изъ простѣйшихъ способовъ *преобразованія криваго непрерывнаго движенія въ прямолинейное качательное*. Онъ состоитъ изъ кривошипа или *мотыля* ОМ, насаждающаго видъ



Фиг. 72.



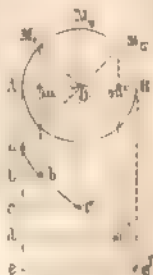
Фиг. 73.

рычага (фиг. 73), который концомъ А, снабженнымъ отверстіемъ, надѣвается на конецъ вала и заклинивается шпилькою. Въ отверстіе, сдѣланное въ другомъ концѣ кривошипа, вставляется хвостъ цапфы М, поящей названіе *пугонки*, сдѣланіе производится посредствомъ чеки или гайки которая навинчивается на нарезанный конецъ хвоста пугонки. Мотыль отливается чаще всего изъ жѣла но иногда отливается изъ чугуна въ первомъ случаѣ сдѣланіе его простое прямоугольное во второмъ случаѣ можно придавать болѣе сложную форму двойнаго Т со скрѣпляющимъ ребромъ. При вращеніи вала центръ пугонки М будетъ описывать окружность радиусъ которой равенъ разстоянію между центромъ вала и центромъ пугонки, это разстояніе назъ *длиною мотыля*.

Въ рассматриваемомъ механизмѣ на пугонку кривошипа ОМ (фиг. 72) надѣтъ *ползунъ* М, помѣщенный въ прорѣзѣ рамы КК.

которая соединена при помощи клина  $t$  съ тягою  $N$ . При вращении вала  $O$  ползуны скользятъ въ прорѣзѣ рамы  $K$ , сообщая ей, а, слѣдовательно, и тягѣ  $N$ , прямолинейное качательное движение между направляющими  $S, S$ , не позволяющими рамѣ уклоняться въ стороны.

**68.** Не трудно показать, что *равномерному движению пуговки соответствуетъ переменное движение тяги  $N$ , т. е. что передача происходитъ неравномерно*. Употребимъ для этого графическій методъ. Раздѣлимъ окружность пуговки на нѣсколько равныхъ частей, напр на 8, соответствующихъ равнымъ промежуткамъ времени, ибо движеніе пуговки равномерное. Пусть длины  $ab, bc, cd \dots$  отложенныя по линіи  $ae$ , перенесены ярной къ  $AB$  (фиг. 74) представляютъ эти промежутки. Возставимъ изъ точекъ  $b, c, d, \dots$  ординаты, на которыхъ отложимъ величины перемѣщений стержня  $X$ , напр для момента  $b$  длину пройденнаго пути ( $Am$ ) получимъ, проведемъ изъ  $M$ , линію параллельную  $ae$  до пересѣченія съ перпендикуляромъ  $b'c'$  въ точкѣ  $b'$ . Соединимъ концы ординатъ, получимъ линію  $ab'c'd'e'$ , которая есть кривая и слѣдъ, движеніе стержня переменное. Такимъ образомъ оказывается, что, по самой сущности устройства этого механизма, невозможно достигнуть при помощи его равномерной передачи движения.



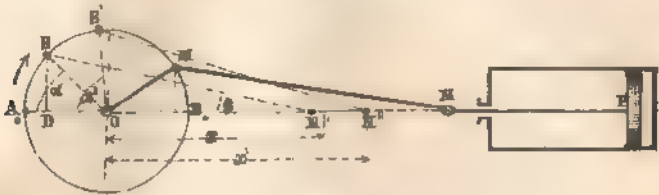
Фиг. 74

Найдемъ отношеніе скоростей пуговки и стержня. Пусть  $c$  будетъ скорость равномернаго движенія пуговки. Это движеніе можно разложить на два гармоническихъ качанія направленныхъ по диаметрамъ  $AB$  и  $CD$  (фиг. 74) окружности пуговки изъ которыхъ первое согласуется съ направлениемъ движенія стержня  $X$ . Перемѣщеніе пуговки  $M$  по второму направленію не имѣетъ вліянія на движеніе стержня, при этихъ перемѣщеніяхъ ползуны только скользятъ внутри прорѣза рамы  $K$ , не передвигая ее. Перемѣщеніе пуговки  $M$  по первому направленію передается стержню  $X$ , ибо пуговка не можетъ передвигаться по этому направленію иначе какъ передвигаясь изъ столько же раму  $K$ . Поэтому, если пуговка  $M$  повернется на уголъ  $\alpha$ , то перемѣщеніе стержня  $N$  будетъ  $AA_1$ , равное  $r(1 - \cos \alpha)$ , гдѣ  $r$  есть длина кривошипа. Движеніе стержня будетъ неравномерное, *скорость его  $v = c \sin \alpha$ , т. е. равна въ каждое мгновеніе проекціи скорости пуговки на направленіе  $AB$ , а ускореніе пропорціонально синусу угла  $A_1$  пуговки отъ центра  $O$* . Полная величина перемѣщенія стержня равна удвоенной длинѣ кривошипа  $OM$ , т. е. *ходъ стержня  $l = 2r$* .

**69 Механизмъ кривошипа и шатуна** Система кривошипа и шатуна представляетъ наиболѣе употребительный механизмъ для преобразованія прямолинейнаго качательнаго движенія въ круго-

вое непрерывное (паровая машина без коромысла) или обратно (тисоцильные машины) <sup>1)</sup>.

На фиг 75 представлено общее расположение горизонтальной паровой машины без коромысла. Стержень  $NP$  (шток поршня), получающий движение от парового поршня  $P$ , движется прямоли-



Фиг. 75.

ейно владь-впередь по направлению прямой  $OP$ , между особыми проводниками (§ 71) Концом  $N$  шток сочлененъ съ тягою  $MN$ , наз. *шатунномъ*, другой конецъ котораго сочлененъ съ штифкомъ  $M$  кривошипа (фиг. 73) При движении штока владь-впередь, конецъ  $M$  шатуна движется по окружности  $OM$ , сообщая кривошину вращательное непрерывное движение вокругъ оси  $O$ . *Величина хода поршня равна удвоенной длине кривошипа.*

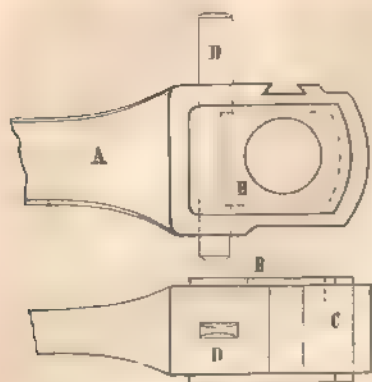
70 На фиг. 76 изображенъ *чугунный шатунъ* обыкновеннаго устройства. Тотъ конецъ шатуна, которымъ онъ сочленяется со штокомъ, имѣетъ обыкновенно форму *вилки* ( $A$ ), конецъ штока снабжается двустороннею напфюю, которая и укрѣпляется своими шипами въ вилкѣ. Концы шатуна, носяще название *головокъ* ( $B$ ), имѣютъ устройство, сходное съ подшипникомъ. Каждая головка состоитъ изъ трехъ частей *скобы* ( $C$ ), *вкладышей* ( $B$ ) и *клиньевъ* ( $D$ ) Скоба или хомутъ служитъ для установки и укрѣпления вкладышей и составляетъ или одно цѣлое съ тѣломъ шатуна (головка съ *неподвижною* скобою, фиг. 77) или же представляетъ отдѣльную часть (головка съ *подвижною* скобою, фиг. 78) Клинья назначаются для подтягиванія вкладышей по мѣрѣ ихъ истиранія, а также для скрѣпленія хомута съ шатуномъ, если головка съ подвижною скобою. Головка всегда снабжается масляною.



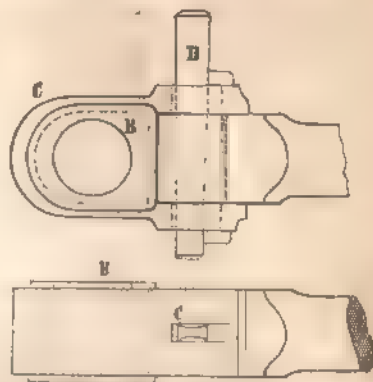
Фиг. 76.

<sup>1)</sup> Первое примѣненіе механизма шатуна и мотыля для преобразования прямолинейнаго вращательнаго движенія поршня въ круговое непрерывное приписывается англ. инженеру Washburn'у (1778 г.).

Шатуны дѣлаются *чугунные*, но чаще *железные* или *стальные*. Въ первомъ случаѣ сѣченію даютъ *крестообразную* форму (фиг. 76)



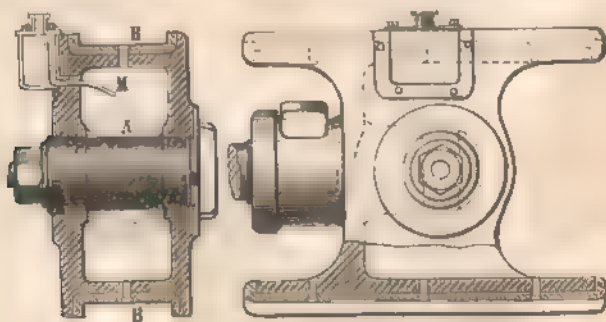
Фиг. 77.



Фиг. 78.

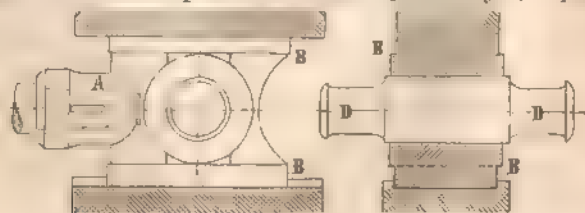
во второмъ—*круглымъ*, а въ локомотивахъ—*прямоугольную*.

71. Соединеніе шатуна съ поршневымъ штокомъ производится



Фиг. 79

при помощи такъ наз *крестовины* или *крейцкофа*, представляю-

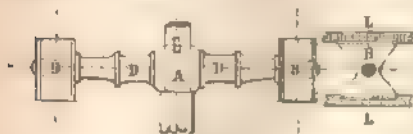


Фиг. 80.

щего или простую *напфу* А (фиг. 79), на которую надѣвается *го-ловка* шатуна, или имѣющаго видъ *короткой* оси DD (фиг. 80),

обыкновенно желѣзной съ двумя напфами D (если конец шатуна видообразный) или съ 2 шейками DD (фиг. 81); штокъ поршня заклинивается въ *стаканъ* A.

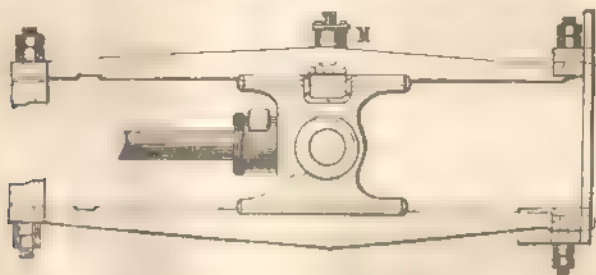
При движеніи шатуна, вследствие наклона его относительно оси штока появляется, какъ составляющая давления пара на поршень,



Фиг. 81.

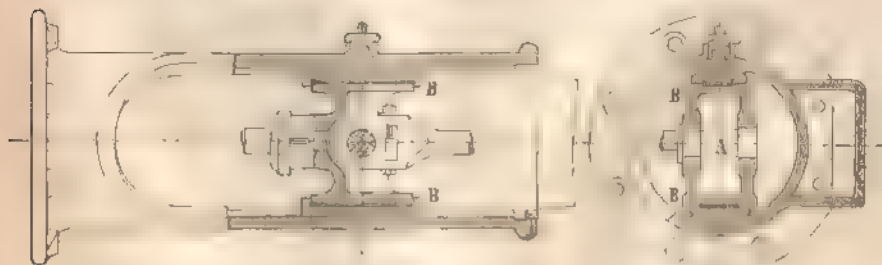
перпендикулярное давленіе на крестовину, направленное постоянно *внизъ*, если кривошипъ вращается *слѣва—направо* (по часовой стрѣлкѣ) и постоянно *вверхъ* — въ обратномъ случаѣ

(другая составляющая давления пара направлена по шатуна). Это давленіе стремится согнуть штокъ, поэтому для послѣдняго должны быть устроены особыя *направляю-*



Фиг. 82.

*щиз (приводники)*, предупреждающія этотъ прогибъ. Съ этою цѣлью крестовину снабжаютъ *однимъ* (фиг. 79 и 80) или *двумя* (фиг. 81) *цилиндрическими подшипниками* BB, имѣющими *плоскую или выпуклую*



фиг. 83.

форму и снабженными *пнотга* бронзовыми *накладками* (фиг. 79). Ползуны ходятъ между направляющими рейками или *параллелями* L.L. которыя приготавливаются изъ *чугуна или желѣза*



(фиг. 82) и должны быть удержаны неподвижно, параллельно оси парового цилиндра. Трущиеся поверхности параллелей должны быть хорошо обстроганы, пришлифованы и обильно смазываемы, для чего снабжаются маслинками (М. фиг. 82).

Хотя направляющая съ четырьмя параллелями лучше удовлетворяют своему назначению, нежели направляющая съ двумя ползунами, однако въ настоящее время наибольшее распространение получило, благодаря своей компактности и легкости обработки (простым сверлением), конструкція двойныхъ параллелей, представленная на фиг. 83.

**72. Движеніе шатуна.** При вращеніи кривошипа шатуна движется такимъ образомъ, что *вся его точка остается въ плоскостяхъ, перпендикулярныхъ къ оси шата.* Движеніе тѣла, при которомъ всѣ его точки остаются въ параллельныхъ плоскостяхъ, наз. *движеніемъ, параллельнымъ данной плоскости.*

Всякое сѣченіе тѣла плоскостью, параллельною данной, будетъ двигаться въ плоскости подобно тому какъ тѣло въ пространствѣ; а потому, если извѣстно движеніе этого сѣченія, то будетъ извѣстно и движеніе тѣла. Слѣд., въ этомъ случаѣ изслѣдованіе движенія тѣла сводится на изслѣдованіе движенія плоской фигуры въ ея собственной плоскости. Но положеніе данной фигуры на плоскости иногда опредѣляется положеніемъ какой-либо прямой линіи, съ нею связанной; поэтому, вмѣсто изслѣдованія движенія фигуры, можно ограничиться изслѣдованіемъ движенія этой прямой.

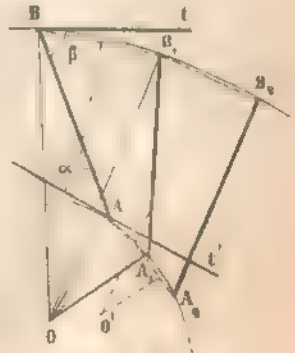
**73. Теорема Шаля.** *Всякое движеніе прямой по плоскости въ теченіе безконечно малому времени можно разсматривать какъ вращеніе около некотораго мгновеннаго центра.*

Пусть АВ (фиг. 84) будетъ начальное положеніе прямой;  $A_1B_1, A_2B_2, \dots$  послѣдовательныя безконечно близкія ея положенія. Проведемъ прямыя  $AA_1, BB_1$  и изъ серединъ ихъ возставимъ перпендикуляры до пересѣченія въ точкѣ О которую соединимъ съ А,  $A_1$ , В и  $B_1$ , прямыми  $OA, OA_1, OB$  и  $OB_1$ . Треугольники  $OAB$  и  $OA_1B_1$  равны между собою по равенству сторонъ. Поэтому, чтобы совмѣстить первый треугольникъ со вторымъ, нужно повернуть первый около О на уголъ  $AOA_1$  или, что тоже, на уголъ  $BOB_1$ . При этомъ АВ совпадетъ съ  $A_1B_1$ . Изъ положенія  $A_1B_1$  въ положеніе  $A_2B_2$  можно привести прямую помощью вращенія около центра О, который опредѣлится подобно предыдущему и т. д. Такимъ образомъ, всякое движеніе прямой или фигуры по плоскости можно разсматривать какъ рядъ безконечно малыхъ вращеній около послѣдовательныхъ мгновенныхъ центровъ.

Всѣ точки прямой АВ обладаютъ въ каждый моментъ одинаковою угловою скоростью, поэтому линейныя скорости  $v$  и  $v'$  концовъ А и В будутъ относиться какъ радиусы  $OA$  и  $OB$ , т. е.:

$$\frac{v}{v'} = \frac{OA}{OB}$$

Но дуги  $AA_1, A_1A_2, \dots$  траектории точки А, а также дуги  $BB_1, B_1B_2, \dots$  траектории точки В, какъ безконечно малыя, могутъ быть приняты за дуги



Фиг. 84.

круговъ, описанныхъ изъ общихъ центровъ  $O, O_1, \dots$ , слѣд., радіусы  $OA$  и  $OB$  будутъ нормальны для траекторій  $AA_1$  и  $BB_1$  въ точкахъ  $A$  и  $B$ . Поэтому можно сказать, что *отношеніе скоростей двухъ точекъ  $A$  и  $B$  равно отношенію нормалей  $OA$  и  $OB$  или разстоянн точекъ  $A$  и  $B$  отъ мгновеннаго центра.*

**74. Отношеніе скоростей кривошипа и поршня; вліяніе длины шатуна; мертвыя точки.** Рѣшимъ этотъ вопросъ графически. Пусть  $N$  (фиг. 85) будетъ положеніе конца штока, когда пуговка кривошипа находится въ положеніи  $M$ ; длина шатуна



Фиг. 85.

равна  $MN$ . Положимъ, что кривошипъ повернулся на уголъ  $\alpha$ , причѣмъ пуговка его перемѣстилась въ положеніе  $M'$ . Засѣкая изъ  $M'$ , какъ изъ центра, точку  $N_1$  радіусомъ  $M'N_1 = MN$  на линіи  $OO_1$ , получимъ соответствующее положеніе конца шатуна. Сдѣлаемъ тоже самое для пѣсколькихъ положеній пуговки:  $M'', M''' \dots$  и

затѣмъ, принявъ линію  $ae$ , перпендикулярную къ  $OO_1$ , за ось времени, построимъ кривую разстояній  $ab'cd'e'$  для движенія конца  $N$  штока. Теперь сравнимъ этотъ способъ передачи съ предыдущимъ (§ 64). Для этого построимъ на томъ же чертежѣ кривую разстояній  $ab'c'd'e'$  для кривошипа безъ шатуна. Изъ чертежа видно, что при кривошипѣ съ шатуномъ перемѣщенія штока *меньше* соответственныхъ перемѣщеній штока при кривошипѣ безъ шатуна, но полное перемѣщеніе одинаково въ обоихъ случаяхъ. Далѣе замѣчаемъ, что въ первомъ случаѣ, когда поршень находится въ серединѣ своего хода, кривошипъ находится *не въ серединѣ своего пути*, какъ бы казаться, т. е. стоитъ не подъ прямымъ, а подъ тупымъ угломъ  $MO_1M_0$  къ линіи штока; между тѣмъ какъ при кривошипѣ безъ шатуна пуговка находится въ серединѣ своего пути  $M''$ .

По кривымъ разстояній  $ab'cd'e'$  и  $ab_1c_1d_1e_1$  не трудно прослѣдить измѣненія скорости поршня въ теченіе одного хода, построивъ кривыя скоростей.

Легко видѣть, что *разница перемѣщеній штока въ сравнительно малыхъ механизмахъ тѣмъ меньше, чѣмъ длиннѣе шатунъ*. Дѣйствительно, предположимъ, что пуговка  $M$  перешла въ положеніе  $M'''$ ; перемѣщеніе конца  $N$  штока при кривошипѣ безъ шатуна будетъ

равно  $Nm$ , а при криволиней съ шатуном  $NN_2$ . Разность этихъ перемѣщений равна  $N_2m$ , она будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ длиннѣе шатунъ, ибо съ увеличеніемъ длины шатуна дуга  $M''N_2$  все болѣе приближается къ перпендикуляру  $M''m$ , съ которымъ совпадетъ при бесконечно большой длинѣ шатуна, тогда  $N_2m = 0$ , т. е. перемѣщения штока въ обоихъ случаяхъ будутъ одинаковы. На этомъ основаніи механизмъ, изображенный на фиг. 72, наз. *кривошипнымъ съ безконечно длиннымъ шатуномъ*. На практикѣ *длины шатуна отличаются обыкновенно отъ 5 до 6 разъ болѣе длины кривошипа*; при этомъ разнѣца между перемѣщеніями штока въ обоихъ механизмахъ на столько незначительна, что мы можемъ принимать скорость поршня равною проекціи скорости пуговки на линію штока  $MM'$ . *Наибольшую скорость поршень будетъ обладать въ срединѣ хода*: она равна скорости с пуговки. Къ концу хода скорость поршня постепенно уменьшается до нуля, что составляетъ необходимое условіе для избѣжанія ударовъ поршня о крышки пароваго цилиндра.

Точки  $M$  и  $M'$  окружности пуговки соответствующія мертвымъ положеніямъ поршня ( $v = 0$ ), наз. *мертвыми точками*. Движущее усиліе (давленіе пара на поршень) въ эти моменты направлено по дугѣ кривошипа, и, слѣд., вращающій пуговку моментъ равенъ нулю.

Кривошипъ, приди въ эти положенія, не можетъ выйти изъ нихъ безъ помощи маховика, ибо одной шершн движущихся частей, какъ-то: штока, шатуна, кривошипа, зубчатыхъ колесъ, сдѣланныхъ на валу кривошипа, въ большинствѣ случаевъ далеко недостаточно для прохожденія мертвыхъ точекъ. Кривошипъ свѣдится съ мертвыхъ точекъ живого силою маховика. Если въ моментъ остановки машины кривошипъ и шатунъ остановились на тѣхъ мертвыхъ точкахъ, то передъ пусканіемъ машины вновь въ ходъ, необходимо свести ихъ съ этой дуги, повернувъ маховикъ на нѣкоторый уголъ.

75. Такъ какъ шатунъ движется параллельно плоскости, перпендикулярной къ оси вала, то примѣняя теорему Шаля (§ 69) можно непосредственно найти отношеніе скоростей пуговки и поршня. Рассмотримъ положеніе  $M'N$  шатуна (фиг. 85). Нормали къ траекторіямъ его концовъ пересѣкаются въ точкѣ  $O'$ , которая будетъ мгновеннымъ центромъ вращенія шатуна. Назвавъ буквами  $v$  и  $c$  скорости поршня и пуговки, будемъ имѣть (§ 69):

$$\frac{v}{c} = \frac{O'N}{O'M} \dots \dots \dots (a)$$

Линія  $M'N$ , пересѣкаетъ радиусъ  $OM$ , перпендикулярный къ  $OM$ , въ точкѣ  $K$ , назовемъ отрѣзокъ  $OK$  буквою  $x$ . Тогда изъ подобныхъ треугольниковъ  $OM'K$  и  $OM'N$ , получимъ:

$$\frac{O'N}{O'M} = \frac{KO}{OM} = \frac{x}{r}, \text{ слѣд., } \frac{v}{c} = \frac{x}{r} \text{ или } \frac{v}{\omega r} = \frac{x}{r}, \text{ откуда } v = \omega x \dots \dots \dots (b)$$

гдѣ  $\omega$  есть угловая скорость кривошипа. Такимъ образомъ, при постоянной  $\omega$ , скорость поршня пропорциональна отрѣзку  $x$ . При  $x = 0$ , т. е. когда ось

шатунa совпадает с осью кривошипа (поршень находится в крайних точках своего хода) скорость поршня равна нулю. Наибольшую величину получить  $x$ , когда ось шатуна направлена по касательной к окружности пуговки, т. е. когда шатун перпендикулярен к кривошипу.

Выразим отношение скоростей пуговки кривошипа и поршня в зависимости от угла  $\alpha$  поворота кривошипа от мертвой точки М. Пусть  $l$  будет длина шатуна и  $\beta$  — угол  $\angle M \hat{N} M$ , образуемый шатуном с линией мертвых точек; тогда будем иметь:

$$\frac{v}{c} = \frac{ON_1}{OM} = \frac{ON_1 \tan \alpha}{(ON_1 + r \cos \alpha) \cos \alpha} = \frac{ON \sin \alpha}{r \cos \beta} = \frac{(r \cos \beta - r \cos \alpha) \sin \alpha}{r \cos \beta}.$$

Но из треугольника  $OMN$  имеем:  $\sin \beta = \frac{r}{l} \sin \alpha$ , поэтому

$$v = c \sin \alpha \left\{ 1 - \frac{r \cos \alpha}{l \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2 \alpha}} \right\} \quad (17).$$

На практике отношение  $\frac{r}{l}$  всегда делается небольшим, именно от  $\frac{1}{10}$  до  $\frac{1}{16}$  и даже до  $\frac{1}{20}$ , поэтому второй член множителя в скобках всегда небольшая дробь. Пренебрегая им перед единицей, получим:  $v = c \sin \alpha$ . Эта формула строго верная для случая бесконечно длинного шатуна (§ 69), показывает, что скорость поршня можно приблизительно считать равной проекции скорости пуговки на линию мертвых точек.

**76. Кратные кривошипы; колéнчатый валъ.** Устройство кратных кривошиповъ имéетъ цéлью уменьшенiе олиянiя мертвыхъ точекъ. Если валъ имéетъ два кривошипа, то они заклиниваются на концахъ вала подъ прямымъ угломъ одинъ къ другому, такъ, что когда одинъ кривошипъ находится въ мертвой точкѣ и



Фиг. 86.

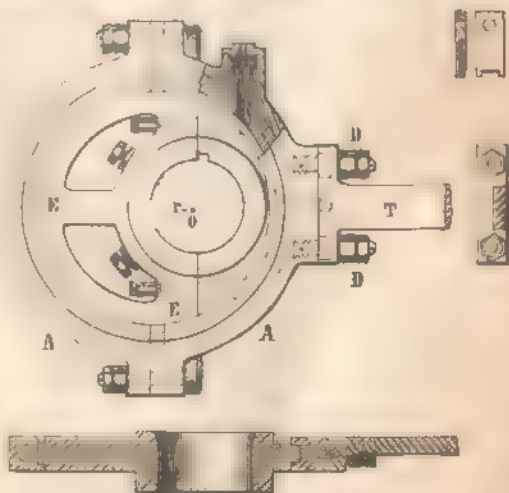
моментъ усиля, на него дѣйствующаго, равенъ нулю, тогда моментъ усиля, дѣйствующаго на другой кривошипъ, имéетъ свое наибольшее значенiе, слéд., одинъ кривошипъ будетъ выводить другой изъ мертвой точки. Легко видѣть, что по мѣрѣ уменьшенiя момента усиля, вращающаго одну пуговку, моментъ этотъ для дру-

гой изголки постепенно возрастает, такъ что измѣненія величины момента, вращающаго валъ, выходятъ настолько незначительны, что во многихъ случаяхъ нѣтъ необходимости прибѣгать къ помощи особыхъ уравнивателей движенія.

Въ *тройномъ кривошипѣ* каждый изъ нихъ насаживается на валъ подъ угломъ  $120^\circ$  къ остальнымъ. При этомъ два кривошипа могутъ быть заклинены на концахъ вала, третій же долженъ быть поставленъ въ срединѣ части, что невозможно, ибо тогда продолженіе вала будетъ мѣшать движенію шатуна. Въ подобныхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ устройству *колычатого вала* (фиг. 86). Каждая изъ трехъ колья представляетъ кривошипъ, соединенный съ другимъ общою панфой, на которую надѣвается головка шатуна, эта панфа носитъ названіе *шейки вала*. Колячатые валы дѣлаются съ однимъ, двумя или нѣсколькими кольями, и приготовляются изъ желѣза или стали.

**77. Эксцентрики.** Эти механизмы имѣютъ видъ дисковъ, съ болѣе или менѣе правильнымъ контуромъ, и служатъ для преобразованія вращательнаго движенія въ прямолинейное качательное, законъ котораго можетъ быть совершенно произвольнымъ. Поэтому существуетъ весьма большое число этихъ механизмовъ. Мы ограничимся разсмотрѣніемъ наиболее употребительныхъ изъ нихъ.

На фиг. 87 представленъ *круглый эксцентрикъ*. Онъ состоитъ изъ диска или шайбы Е, заклиненнаго на валу О, центръ котораго не совпадаетъ съ центромъ С диска; поэтому дискъ Е получилъ названіе *эксцентрика*. Разстояніе ОС между центрами вала и диска наз. *эксцентрицитетомъ*. Эксцентрикъ отдѣляется обыкновенно изъ чугуна и снабжается вырѣзами, для уменьшенія вѣса. Иногда, для удобства надѣванія на валъ, дѣлаютъ эксцентрикъ изъ двухъ отдѣльныхъ половинокъ, скрѣпляемыхъ болтами.



Фиг. 87.

Ободъ эксцентрика плотно охваченъ *хомутомъ* или *бундемо* АА, внутри котораго эксцентрикъ можетъ вращаться. Хомутъ дѣлается изъ чугуна, желѣза или латуни и состоитъ всегда изъ двухъ

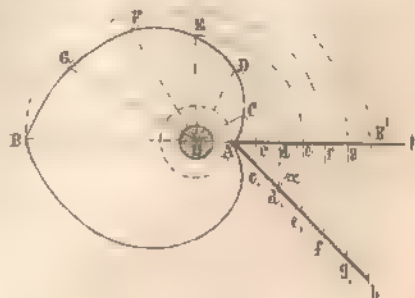


полукольцев, стягиваемых болтами. Хомуты должны быть тщательно пришлифованы к диску и, в предупреждение соскакивания, снабжаются выступом, входящим в выемку, сделанную в диске. Между хомутом и диском нерфико помещается бронзовая прокладка.

При помощи болтов  $B, D$  хомут соединяется с эксцентриковым тягом  $T$  (обыкновенно желѣзною — прямоугольнаго сѣченія), который при вращеніи эксцентрика *передвигается то въ ту, то въ другую сторону на величину углового эксцентриситета*  $g$ , подобно тому какъ въ механизмѣ кривошипа и шатуна конецъ послѣдняго перемѣщается при вращеніи кривошипа взадъ и впередъ на величину, равную удвоенной длинѣ кривошипа. Это ясно изъ того, что въ сущности крупный эксцентрикъ представляетъ лишь видоизмѣненіе кривошипа: его можно разсматривать какъ кривошипъ, диаметръ пуговки котораго увеличенъ до того, что послѣдняя охватываетъ тѣло кривошипа, вѣтку его и валъ, на которомъ онъ заклиненъ, такъ что всѣ части кривошипа оказываются слитыми въ кругломъ эксцентрикѣ въ одно цѣлое въ видѣ диска. Слѣдовательно, теорія дѣйствія такого эксцентрика нѣсколько не отличается отъ теоріи механизма кривошипа и шатуна, т. е. *передача движенія будетъ неравномерна* и путь, проходимый концомъ эксцентриковой тяги въ теченіе полуоборота будетъ равенъ  $2g$ , гдѣ  $g$  есть эксцентриситетъ ( $OC$  эксцентрика, при чемъ, такъ какъ эксцентриситетъ можно сдѣлать весьма малымъ, независимо отъ диаметра пала, то помощью эксцентрика можно сообщать тягу, а, слѣд., и соединенному съ ея концомъ механизму, весьма малый толкъ. Другое преимущество круглаго эксцентрика передъ кривошипомъ заключается въ томъ, что онъ можетъ быть заклиненъ въ какомъ угодно мѣстѣ вала, тогда какъ кривошипъ можетъ быть поставленъ только на концахъ его.

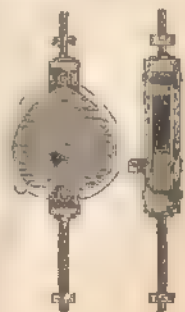
Но эксцентрикъ не можетъ служить для обратнаго преобразованія прямолинейнаго качательнаго движенія стержня  $T$  въ непрерывное вращательное движеніе вала, потому что давленіе, которое необходимо было бы прозвести для этого въ направленіи  $AT$ , послужило бы къ увеличенію тренія между хомутомъ и ободомъ эксцентрика и не могло бы вращать эксцентрикъ. Наконецъ, работа тренія въ случаѣ эксцентрика гораздо болѣе, нежели при кривошипѣ. Дѣйствительно, во время одного оборота вала пуговка кривошипа и дискъ эксцентрика совершаютъ одинъ полный оборотъ, первый въ головкѣ шатуна, второй въ хомутѣ; слѣд., окружность  $2\pi r$ , поперечнаго сѣченія пуговки и окружность  $2\pi R$  диска представлятъ пути, проходимые въ теченіе одного оборота вала трениемъ, существующимъ на поверхности пуговки или диска; поэтому ясно, что работа этого тренія, при равенствѣ самаго тренія, въ случаѣ эксцентрика будетъ значительно болѣе, нежели въ случаѣ кривошипа (она достигаетъ до 45—50% передаваемой эксцентрикомъ работы). Вслѣдствіе этого эксцентрикъ употребляется только для передачи небольшихъ усилий, при которыхъ на хомутѣ возбуждается незначительное треніе (применительно для передачи движенія парораспределительнымъ механизмамъ паровыхъ машинъ).

**78. Сердцевидный эксцентрик (фиг. 88).** Предположим, что требуется преобразовать равномерное вращательное движение вала  $O$  в прямолинейное качательное движение стержня  $AB$ , совершающееся по определенному закону. Для этого на вал  $O$  сажают эксцентрик  $AB$  с симметричным контуром, который, вращаясь, сообщит соприкасающемуся с ним стержню прямолинейное движение. Форма контура эксцентрика зависит от закона движения стержня. Определим очертание эксцентрика для случая равномерного движения стержня. Пусть  $AB'$  будет длина полного перемещения стержня в одну сторону, когда вал сделается полуоборотом. Представим графически закон движения стержня. Для этого заметим, что так как вал вращается равномерно, то равным углам поворота его будут соответствовать равные времена движения стержня, причем полный размах  $AB'$  он совершит во время, соответствующее полуобороту вала. Определим теперь радиус центра  $O$  окружности  $OA$  и разделим ее на несколько равных частей, например, на 12. По линии  $At$ , как оси времени, отложим длину  $AB'$ , соответствующую времени полуоборота вала, и делами, воделив на точки  $B$  перпендикуляр  $VB$ , равный полному перемещению  $AB$  стержня, соединим точки  $A$  и  $b$  прямою  $Ab$ , которая представит закон равномерного движения стержня, а  $\tan \alpha$  угла  $\alpha$  — скорость этого движения. Разделим время  $AB$  на 6 равных частей и из точек деления поставим перпендикуляры  $ce, dd$ , которые выразят пути, пройденные стержнем в течение  $\frac{1}{6}$  и  $\frac{2}{6}$  полуоборота вала. Отложим затем длины  $ce, dd$  по продолжению последовательных радиусов окружности  $OA$ , соединив найденные таким способом точки  $C, D, E$ , кривою  $ACDEGB$ , получим очертание эксцентрика, при котором стержень будет двигаться равномерно. Действительно, при повороте вала на  $\frac{1}{6}$  полуоборота, точка  $C$  придет в  $e$ , причем стержень продвинется на длину  $Ac = ce$ ; при повороте вала на  $\frac{2}{6}$  полуоборота точка  $D$  придет в  $d$ , причем стержень продвинется на длину  $Ad = dd$ , и т. д. Следовательно, движение стержня будет равномерно-периодическое. С противоположной стороны эксцентрик будет очерчен симметричною кривою, которая будет соответствовать обратному ходу стержня. По форме контура <sup>2)</sup> эксцентрик получить название *сердцевидный* или *сердечник*.



Фиг. 88.

На фиг. 89 представлено расположение сердцевидного эксцентрика, употребляемое на практике. Эксцентрик нажимается на ролики, прикрепленные к раме, внутри которой помещен сердечник. Поэтому необходимо полученное выше геометрическое очертание замкнуть кривою, равноотстоящею от пер-



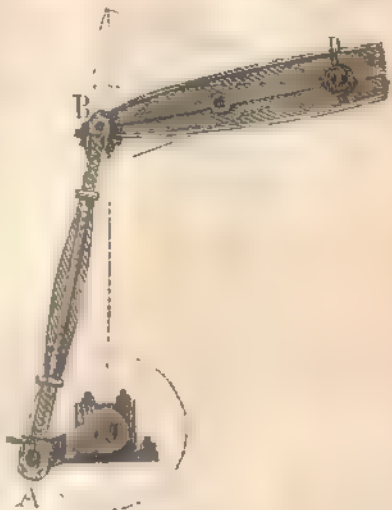
Фиг. 89.

<sup>1)</sup> Для простоты чертежа отрезок, выражающий время полуоборота, взять равным длине хода стержня.

<sup>2)</sup> Кривая контура есть архимедова спираль. Точки этой кривой полу-



или желѣзный рычагъ BD (фиг. 92), катающійся около оси D: качательное движеніе коромысла получаетъ отъ штока пароваго поршня и преобразуетъ его другимъ концомъ въ круговое непрерывное движеніе главнаго вала машины. Такимъ образомъ, передача при посредствѣ коромысла заключаетъ въ себѣ: 1) преобразование прямолинейнаго качательнаго движенія въ круговое качательное и 2) преобразование круговаго качательнаго движенія въ круговое непрерывное. Первое осуществляется при помощи такъ наз. *параллелограмма* (§ 82); второе—при помощи механизма шатуна и мотыля. Конецъ B коромысла снабжается двустороннею цапфою, на которую надѣвается вилка шатуна АВ, сочлененнаго другимъ концомъ съ кривошипомъ СА. Въ то время какъ верхній конецъ шатуна движется по дугѣ круга, нижній описываетъ почти полную окружность, заставляя мотыль вращаться около оси С. Изслѣдованіе движенія лонна В шатуна можетъ быть произведено приемомъ, аналогичнымъ указанному въ § 74.



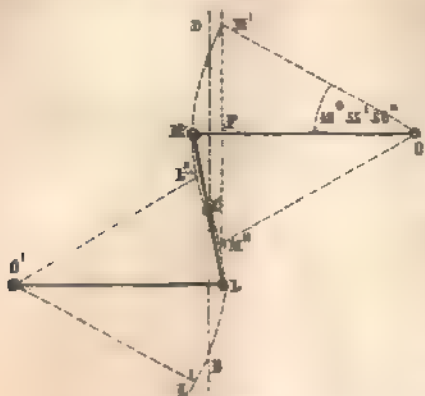
Фиг. 92.

**82 Направляющіе параллелограммы** Общее названіе *параллелограммовъ* носятъ механизмы, при помощи которыхъ конецъ штока соединяется съ концомъ коромысла. Назначеніе ихъ состоитъ въ томъ, чтобы заставить штокъ двигаться по прямой линіи, въ то время какъ конецъ коромысла описываетъ дугу круга. Если бы конецъ штока былъ соединенъ непосредственно съ концомъ коромысла, то при движеніи по дугѣ круга штокъ неизбежно уклонился бы отъ прямолинейнаго направленія. Последствиемъ этого явилось бы одностороннее истирание горловины (*сальника*), сдѣланной въ крышкѣ пароваго цилиндра для прохода штока, и образованіе зазора между штокомъ и стѣнками сальника, черезъ который дѣйствующій въ цилиндрѣ паръ сталъ бы выходить изъ цилиндра.

Существуетъ нѣсколько различныхъ устройствъ параллелограммовъ. Наиболее употребительны изъ нихъ есть параллелограммъ Уатта, изобрѣтатели паровыхъ машинъ.

**83. Сокращенный параллелограммъ Уатта.** Пусть ОМ (фиг. 93) будетъ среднее (горизонтальное) положеніе коромысла ОМ' и ОМ'' — крайнія его положенія, симметричныя по отношенію къ ОМ и со-

отвѣтствующія началу и концу хода поршня. Раздѣлимъ стрѣлку  $MF$  дуги  $M'M''$  пополамъ и черезъ точку дѣленія проведемъ прямую  $DD$ , параллельную хордѣ  $M'M''$ . Примемъ эту прямую за на-



Фиг. 93

правленіе оси пароваго цилиндра. Къ концу  $M$  коромысла подвѣсимъ на шарнирѣ стержень  $ML$  и укрѣпимъ въ серединѣ его  $C$  шарниръ, къ которому подвѣсимъ конецъ штока. Стержень  $ML$  носитъ названіе *серьги*.

Если привести коромысло въ движеніе, заставляя точку  $C$  оставаться постоянно на вертикальной прямой  $DD$ , то конецъ  $L$  серьги опишетъ кривую, которую не трудно построить по точкамъ, вычертивъ коромысло въ различныхъ его положеніяхъ; и обратно, если

заставимъ какимъ-либо способомъ конецъ  $L$  серьги двигаться по этой кривой, то шарниръ  $C$ , а за нимъ и штокъ, будутъ двигаться совершенно строго по вертикали  $DD$ , слѣд., механизмъ будетъ вполне удовлетворять своему назначенію

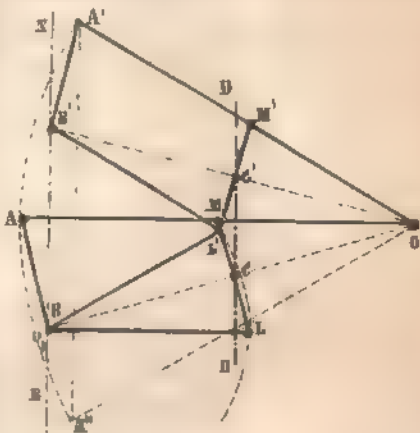
На самомъ дѣлѣ конецъ  $L$  серьги заставляютъ двигаться не по точной кривой, что было бы затруднительно, а по дугѣ круга, проходящаго черезъ три ея положенія (среднее и два крайніе)  $L, L', L''$ , для чего конецъ  $L$  серьги соединяютъ посредствомъ тити  $O'L$ , наз. *контръ-балансиромъ* (также *тягилкомъ*, *ползучимъ*) съ центромъ  $O'$  этого круга. Контръ-балансиръ устанавливается обыкновенно такимъ образомъ, что при горизонтальномъ положеніи коромысла  $OM$ , онъ занимаетъ также горизонтальное положеніе.

Механизмъ такого устройства наз. *одночленнымъ* или *сокращеннымъ параллелограммомъ Затта*. Точки  $M$  и  $L$  серьги будутъ двигаться по окружностямъ  $OM$  и  $O'L$ , но середина ея  $C$ , къ которой привѣшенъ конецъ штока, будетъ двигаться не строго по вертикали  $NN$ , а будетъ описывать кривую линію, близкую къ вертикали. Чтобы отклоненія отъ вертикальной линіи не были велики, углы, описываемые коромыслами при размахѣ поршня, не должны быть значительны. Но по радиусу  $OM$  и  $O'L$  дѣлаютъ довольно длинныя, именно въ 1,5 раза большіе длины хода поршня, который равенъ хордѣ  $M'M''$  тогда уголъ размаха коромысла равенъ  $37^{\circ} 30' 56''$ . Длину серьги дѣлаютъ равною  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{3}$  хода поршня. При этомъ отклоненія конца поршня отъ вертикальной линіи такъ



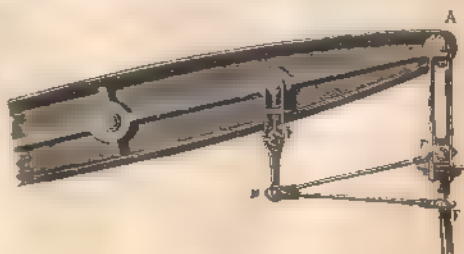
малы, что едва могут быть замѣчены наблюденіемъ надъ дѣйствительнымъ движеніемъ механизма <sup>1)</sup>).

**84. Полный параллелограммъ Уатта.** Продолжимъ коромысло  $OM$  (фиг. 94) на длину  $AM=OM$  и подвѣсимъ къ концу  $A$  вторую серьгу  $AB$ , параллельную и равную  $ML$ ; затѣмъ соединимъ  $B$  и  $L$  тягою  $BL$ , параллельною  $OA$ ; получимъ параллелограммъ  $ABML$ . Линія  $OB$  проходитъ черезъ середину  $C$  серьги  $ML$ . Такъ какъ всѣ стержни сочленены шарнирами, то параллелограммъ  $ABML$  останется таковымъ при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ коромысла. Треугольники  $OMC$  и  $OAB$  будутъ постоянно подобны между собою, и, слѣд., точка  $B$  будетъ описывать кривую линію, подобную кривой описываемой точкой  $C$ , т. е. будетъ двигаться по вертикальной прямой  $NN'$ ). Длину плеча  $OA$  коромысла дѣлаютъ обыкновенно изъ 1,5 раза больше хода поршня, равнаго хордѣ  $A'A''$ . Изъ точки  $B$  подвѣшиваютъ штокъ поршня, а къ точкѣ  $C$  штокъ воздушнаго насоса.



Фиг. 94

На практикѣ вмѣсто одного параллелограмма подвѣшиваютъ два, съ одной и съ другой стороны коромысла (фиг. 95). Двѣ вершины, проектирующіяся въ  $B$ , соединяются горизонтальною осью къ серединѣ которой подвѣшивается штокъ поршня; точно также середины серегъ  $C$  соединяютъ болтомъ, служащимъ для подвѣшивания штока воздушнаго насоса. Концы прямыхъ укрѣпляются къ двумъ отдѣльнымъ



Фиг. 95.

<sup>1)</sup> По наблюденіямъ *Нунн*, при длинѣ коромысла 1 — 2,515 м и длинѣ серьги 1 — 0,762 м, уклоненіи конца штока составляютъ всего около 2 мм.

<sup>2)</sup> Эт. и по изъ подобія  $\triangle$ -овъ  $OAB$ ,  $OMC$  и  $OAB$ ,  $OMC$ , изъ которыхъ находимъ  $\frac{OB}{OC} = \frac{OB}{OC}$ , т. е. прямая  $CC$  соединяющая два какихъ-либо положенія точки  $C$ , параллельна прямой соединяющей два соответствующихъ положенія точки  $B$ . Слѣд. если точка  $C$  движется по вертикали, то точка  $B$  описываетъ тоже вертикальную прямую.

болтамъ  $O'$ , зацѣпленнымъ въ станинѣ машины; между этими двумя болтами остается промежутокъ, достаточный для прохода штока.

### ЗАДАЧИ.

30 Изслѣдовать графически одновременное движеніе конца коромысла и пугонки кривошипа въ системѣ коромысла, шатуна и мотыля. Привести къ частному случаю, когда длина плеча коромысла равна длинѣ мотыля (механизмъ соединенныхъ мотылей).

31 Определить величину работы поглощаемой треньмой пугонки кривошипа въ паровой машинѣ силою въ 30 пудовъ при слѣдующихъ данныхъ: радиусъ пугонки  $r = 0,01$  м., число оборотовъ машины  $n = 30$ , средняя скорость  $s = 1,5$  м. и коэфф. тренія  $f = 0,08$ .

32. Показать, что въ сердцевидномъ эксцентрикѣ (фиг. 98) всѣ діаметры равны между собою, такъ что какъ бы ни повернулся эксцентрикъ онъ всегда помѣстится въ своей рамкѣ.



Фиг. 96.

33 Изслѣдовать движеніе и трить закрѣпить, сообщенное стержню треугольнымъ эксцентрикѣмъ (фиг. 96), стороны котораго равны между собою и представляютъ дуги круговъ, описанныхъ изъ вершинъ. Центръ вращенія эксцентрика находится въ одной изъ его вершинъ движеніе вала равномерное.

34 Найти очертаніе эксцентрика который долженъ сообщать стержню двѣ двойныхъ размаха (въ 1 оборотъ вала) и при томъ такъ, чтобы въ течение каждаго хода стержня его движеніе было ускоренное въ теченіе  $\frac{1}{2}$  хода въ слѣдующую треть замедленное и въ остальную  $\frac{1}{2}$  онъ оставался бы въ покоѣ.

35 Прямая  $AB$  движется однимъ концомъ  $A$  по вертикальной прямой, а другимъ  $B$  по горизонтальной. Показать, что середина  $M$  прямой  $AB$  опишетъ

при этомъ окружность радиуса  $\frac{1}{2} AB$  около точки  $O$  пересѣченія направляющихъ прямыхъ, и что, слѣд. обратно, если заставимъ точку  $B$  двигаться по горизонт. прямой а середину  $M$  по окружности  $OM$ , то точка  $A$  будетъ двигаться по вертикали и механизмъ можетъ служить для направленія движенія штока (параллелограммъ Эванса).

## II. МАШИНЫ-ДВИГАТЕЛИ.

**85. Подраздѣленіе машинъ-двигателей.** (Смотря по роду естественныхъ энергій, служащихъ двигателями, *машины-двигатели* могутъ быть раздѣлены на слѣдующія группы.)

1. *Прямники живыхъ двигателей*, преобразующіе въ полезную работу мускульную энергію людей и животныхъ.

Источникомъ мускульной силы животныхъ служитъ, какъ мы видѣли животныя тепло, выдѣляемое въ дѣйствіе химическихъ процессовъ, сопровождающихъ процессы пищеваренія и дыханія. Живые двигатели представляютъ самую простую и древнѣйшую технику механической работы, но въ то же время это самые слабѣе и тѣсно двигатели. Поэтому теперь кругъ примѣненія живыхъ двигателей ограничивается лишь случаями исключительными.

2. *Гидравлическіе моторы*, преобразующіе въ полезную работу энергію падающей или текущей воды.

Гидравлическіе моторы представляютъ собою одни изъ самыхъ экономическихъ и совершенныхъ машинъ-двигателей. Эти примечки утилизируютъ въ настоящее время сравнительно лишь весьма небольшую часть всей энергіи движущейся воды, зато дѣйств. въ природѣ, ибо пользование этимъ даровымъ двигателемъ находится въ зависимости отъ мѣстныхъ условий. Наоборотѣ проволочныхъ кабелей дасть однако возможность устроить тамъ где неудобство мѣстныхъ условий и расширить кругъ примѣненія этого двигателя, предоставляя работу на далекомъ разстояніи, съ цѣлью утилизировать ее въ будущемъ, члѣнъ протозоней. Примеръ этому представляетъ возмѣщивание многихъ фабрикъ и заводовъ около седей Бенардъ го Франції, утилизирующихъ по мощью тѣхъ динамическихъ кабелей энергію Ронскаго водопада, а также созданіе промышленнаго центра около Патагскаго водопада.

3. *Прямники ветра*, преобразующіе въ полезную работу энергію ветра.

Хотя моторы представляютъ самый распространенный и экономическій типъ, однако пользование имъ весьма ограничено, главнымъ образомъ не дѣйствіе трезвучіемъ неправильности его дѣйствія, происходящаго отъ частыхъ и иногда рѣзкихъ переминовъ какъ величинъ, такъ и направленія

его скорости. Эта неправильность делает невозможным применение ветра в тех случаях, когда требуется непрерывное и правильное действие двигателя. Другой важный недостаток ветряных премников составляет то обстоятельство, что они нуждаются в открытом пространстве для свободного доступа ветра. Применение силы ветра для движения парусных судов и жерновов, мукомольных мельниц было известно еще в древности. В настоящее время его пользуются еще для движения насосов, в работах по орошению полей и осушению болот. Малосильные ветряные премники используются, особенно в Америке, широким распространением, в сельскохозяйственной промышленности для приведения в движение различных машин, а также на железных дорогах для водокатаев.

4. *Термодинамические машины*, преобразующия в полезную работу энергию топлива.

Из этих машин-двигателей наибольшее промышленное значение имеют *паровыя машины* громадное большинство фабрик и заводов приводится в движение силою пара <sup>1)</sup>. Преимущество парового двигателя состоит в его удобн-применимости при всевозможных условиях, хотя пользование им требует, подобно тому как и пользование живыми двигателями, непрерывных затратек, вызываемых потреблением топлива; но эти затраты несравненно меньше тех, какия потребовались бы для людей и животных, собранных для производства работы, равной работ паровой машины.

К термодинамическим премникам, кромѣ паровых машин, принадлежат: 1) *калорические машины*, действующия силою нагрѣтого воздуха, 2) *степныя машины*, действующия силою упрямого, расширяющагося при сгорании в закрытом пространстве, газового вырывающаго сабен (воздуха и сифигизмга) газа) газовой премницы сдв-тих машин перед паровыми заключаются в полной безопасности работы, небольшомъ помѣщеніи, необходимости для них вентиляции, отсутствіи пожара во время ихъ дѣйствія и проч. Все эти преимущества играютъ особенно важную роль ~~на малыхъ промышленныхъ~~, гдѣ эти машины и нави слѣб. быстрое распространение, не смотря на изобрѣтеніи многихъ типовъ паровыхъ двигателей, предназначенныхъ для маломасштабныхъ работъ, въ видѣ разлчнго рода такеломобилей и локомотивовъ, отличающихся простотою устройства и компактностью. Большую аналогию съ калорическими и газовыми машинами представляютъ появившіяся въ недавнее время *нефтяныя машины*, действующия упрягостью горячихъ газовъ образующихся при сжиганіи нефтиныхъ остатковъ въ замкнутомъ пространствѣ. Однако онѣ имѣютъ сравнительно еще ограниченное практическое примѣненіе.

Изъ другихъ двигателей, кромѣ упомянутыхъ выше 4 родовъ, наиболее известны въ практикѣ *электрическіе* и *третичныя*.

5. *Электрическіе двигатели*. Эти двигатели принадлежатъ къ числу *вторичныхъ* двигателей (§ 3), они могутъ только преобразовывать и передавать энергию, принятую отъ какого-нибудь другаго двигателя, съ извѣстною потерей (на бесполезныя сопротивленія).

Изъ электрическихъ двигателей наибольшее распространение получили такъ наз. *электромоторы* или *электромашинныя*, состоящія изъ двухъ главныхъ органовъ: 1) *индуктора*, т. е. органа, проводящаго ин-

<sup>1)</sup> Въ настоящее время на земномъ шарѣ имѣется паровыхъ машинъ (постоянныхъ, локомотивовъ и паролетныхъ) общеою силою болѣе 50 милл. пар. лощ., расходующихъ свыше 150 милл. тоннъ топлива ежегодно.

дукцию тока и 2) *индукционного аппарата*, въ которомъ развиваются наведенные токи. Заставляя вращаться пидуэторъ передъ пидукционнымъ аппаратомъ, или, чаще, послѣдній передъ первымъ, получаютъ токи, тѣмъ болѣе сильныя, тѣмъ болѣе скорость вращения. Главное примѣненіе динамомашины, находящая въ *газовыхъ пластыяхъ, лектроскопическомъ освѣщеніи и въ передатчикѣ энергии на значительныя разстоянія*. Послѣдняя основана на слѣдующемъ принципѣ *обратимости динамоэлектрическихъ машинъ: Машины, при вращеніи въ движениѣ, производятъ токъ, и, наоборотъ, если ей сообщитъ токъ, она производитъ движеніе*. Ни одинъ изъ извѣстныхъ способовъ передачи работы на большія разстоянія (кавитация пара и сжатого воздуха <sup>1)</sup>, гелиодинамическіе кабели) не дасть такого полнаго рѣшенія вопроса какъ электричество, которое съ помощью органовъ, крайне простыхъ, можетъ доставить, смотря по надобности, или теплоту, или свѣтъ, или двигательную силу, или химическое дѣйствіе.

6 *Пружинные овиштели*. Эти двигатели принимаютъ, подобно электрическимъ, въ числѣ *вторичныхъ* двигателей. По незначительности передаваемой работы, ибо въ одномъ килограммѣ закаленной стали можно заключить не болѣе 15—18 к. м. работѣ, безъ опасенія перейти предѣлы упругости и кратковременности дѣйствія они имѣютъ для промышленности второстепенное значеніе.

Гораздо болѣе практическое значеніе, какъ вторичный двигатель имѣютъ *сжатые газы*, типичныя изъ которыхъ аналогично съ работою пара той же упругости. Изъ извѣстныхъ примѣненій сжатого воздуха укажемъ на употребленіе имъ для *двигателя локомотивовъ по горескимъ улицамъ, подводныхъ токахъ, для шлюзовъ вагоновъ въ тоннеляхъ подъ Темзкою, сверлящихъ приборомъ <sup>2)</sup>, употребляемыхъ при прогнѣтѣ тоннелей и т. п.*

86. Свойства двигателей имѣютъ такое влияніе на устройство приемниковъ ихъ работы, что для каждаго изъ нихъ можетъ быть найдено только *наилучшее устройство приемника, соответствующее особенностямъ наилучшаго (т. е. типичнаго) двигателя*. Поэтому, для изученія приемниковъ (машинъ-двигателей) необходимо имѣть ясное

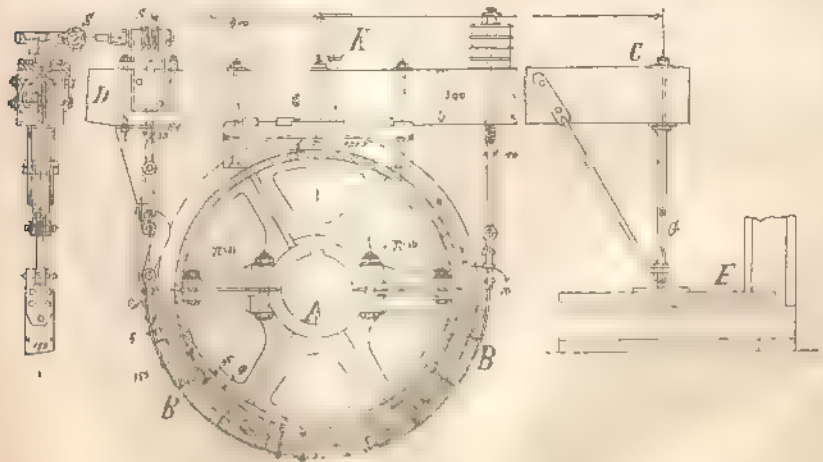
<sup>1)</sup> Водяной паръ и сильно сжатый воздухъ изъ центрального здания про-  
водятся по трубамъ въ различные кварталы города для дѣйствія машинъ,  
двигателей.

<sup>2)</sup> При прорытіи въ 1873 г. С.-Готтардекаго тоннеля существенное затрудненіе представляла необходимость передать работу машины двигателя *спердичными* приборамъ на огромныя разстоянія (болѣе 6 верстъ). *Во изысканіе порога воздѣла*, сказавшееся невозможнымъ установить паровую машину съ котломъ въ самомъ тоннелѣ, проведеніе же пара по трубамъ на такое разстояніе, а также примѣненіе телединамической передачи, требовавшей большаго числа шкивовъ, было весьма непрактично. Послѣ многихъ опытовъ остановившись на сжатомъ воздухѣ. Особыми насосами называемыми *компрессорами*, которые приводились въ движеніе турбинами, воздухъ нагнетался въ большіе резервуары, склепанные изъ котельнаго желѣза и напоминавшие своимъ наружнымъ видомъ паровыя котлы. Упругость воздуха въ этихъ резервуарахъ-котлахъ доходила до 7—8 атм. По мѣрѣ наполненія, резервуары подвигались воздушными локомотивами по рельсамъ къ мѣсту работы и приводились въ сообщеніе при помощи каучуковыхъ трубокъ со сверлящими и др. приборами, въ которыхъ воздухъ дѣйствовалъ на поршень цилиндра, подобно тому, какъ паръ дѣйствуетъ на паровой поршень.



понятіе о тѣхъ успѣхахъ, отъ дѣйствія которыхъ приемники эти получаютъ свое движеніе. Следовательно, изученію приемниковъ должно предшествовать изученіе двигателей, которое должно состоять въ изслѣдованіи *свойствъ* двигателя, *способовъ*, какими онъ можетъ дѣйствовать въ опредѣленн *величины силы*, какую онъ можетъ обнаружить въ каждый моментъ, и *количества энергии* (запаса работы), которымъ можно воспользоваться въ данное время для движенія приемника. Зная *запасъ работы двигателя*, мы въ состояніи будемъ *судить о вѣроятности* приемника, *сравнивая* работу двигателя съ *полезною работой* приемника, т. е. тою частью энергии двигателя, которая, будучи машинною мощностью, можетъ перенести рабочимъ машинкою. Одинъ изъ употребительнѣйшихъ приборовъ для измѣренія полезной работы различныхъ моторовъ (гидравлическихъ колесъ, паровыхъ машинъ и пр.) есть такъ наз. *нажимъ Прони*, знаменитаго фр. инженера, изобрѣтенный имъ въ 1821 г.

**87. Нажимъ Прони.** Началомъ, на которомъ основано измѣреніе полезной работы *нажимомъ Прони*, чрезвычайно просто и состоитъ въ слѣдующемъ (сумма вѣхъ работъ произвоимыхъ рабочими машинами, получающими движеніе отъ вала машиннаго двигателя



Фиг. 97.

и вѣхъ живыхъ силъ, которая приобретается изъ этихъ машинъ составляетъ *полную работу*  $L$ , передаваемую валомъ машины — двигателя. Представимъ себѣ, что весь рабочий аппаратъ отъ приводаго вала; тогда скорость  $v$  последнего станетъ увеличиваться. Предположимъ также, что вѣхъ рабочихъ машинъ, введено какое нибудь сопротивленіе, работу котораго легко измѣрить, напр., треніе, и пусть при этомъ движеніе вала

приходится съ тою же скоростью  $v$ , какъ въ первомъ случаѣ. Испо, что работа этого сопротивленія равна работѣ  $T_c$ , затрачиваемой на приведение въ движеніе исполнительныхъ механизмовъ.

На фиг. 97 представле*нъ* *позже* *Прони*, служившій проф. *Рабинери* при испытаніи, на ремесленной выставкѣ въ Дюссельдорфѣ въ 1880 г., паровыхъ машинъ силою отъ 30—100 пар. л. Главныя части его составляють колесо  $A$  (разрѣзное), которое насаживается на главный валъ испытываемой машины, дубовыя тормозныя *подушечки*  $B, B$ , уложенныя на прогибании ниже полуокружности желобчататаго обода колеса  $A$  и поддерживаемыя стальною полосою, концы которой пропущены сквозь *рычаги*  $DC$ . Натяжение тормозной полосы производится при помощи винтового механизма  $MS$ . При вращеніи колеса  $A$  между его ободомъ и подушечками возбуждается значительное треніе, такъ что колесо стремится утянуть съ собою и рычагъ  $CD$ , который при посредствѣ стержня  $CG$  производитъ давление на платформу десятичныхъ вѣсовъ  $E$ . Полоса  $B$  натягивается постепенно, пока скорость вращенія достигнетъ такая же, какъ и при сильныхъ рабочихъ машинахъ. Для предупрежденія затоптанія дерева должно во время опыта обильно смачивать поверхность обода колеса мыльною водою. Съ этою цѣлью въ рычагъ и въ верхней подушкѣ дѣлается каналъ съ воронкою  $K$ , по которому постоянно притекаетъ мыльная вода.

88. Называя треніе буквою  $F$ , радиусъ колеса  $A$  буквою  $r$ , а число его оборотовъ въ минуту  $n$ , получимъ работу тренія въ секунду:

$$T_n = \frac{F \cdot r \cdot n}{60} \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

Для вѣтрѣнія величины  $F$  уравниваютъ дѣйствительныя вѣсы, пока рычагъ  $DC$  не займетъ горизонтальнаго положенія, или, по крайней мѣрѣ, будетъ только немного колеситься около этого положенія. Но для равновѣсія рычага сумма моментовъ вѣсовъ силъ, къ нему приложенныхъ относительно его оси, должна быть равна нулю. Пусть давление на платформу будетъ  $P$ , а его плечо  $l$ , тогда уравненіе равновѣсія будетъ (моменты собственного вѣса тормоза равны нулю, ибо рычагъ уравновѣшенный)  $P \cdot l - F \cdot r = 0$ , откуда  $F \cdot r = P \cdot l$ . Вставивъ эту величину въ выраженіе (a), получимъ величину работы, передаваемой валомъ въ секунду:

$$T_n = P \cdot l \cdot \frac{2\pi n}{60} = P \cdot l \cdot \frac{\pi n}{30},$$

или въ паровыхъ лошадяхъ, если  $P$  выражено въ килограммахъ и  $l$  въ метрахъ:

$$N = P \cdot l \cdot \frac{\pi n}{30 \cdot 75} \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

## ГЛАВА IV.

### Пріемники живыхъ двигателей.

**Живые двигатели и ихъ работа.** Навыгодѣйшія величины: *усилія, скорости и работа* дня — *Формула Машея*. Пріемники работы: *человѣкъ, Сложный воротъ, Равновѣсіе лѣбедки — Домкраты, Краны, Машина Ксанье.* Пріемники работы животныхъ: *Постоянный маневръ, Переносный маневръ, Маневръ Баррета, Мележъ Пипе, — Палатинный кругъ, — Американскій толчакъ — Перевозка грузовъ животными. Задачи*

**89. Живые двигатели и ихъ работа.** Къ живымъ двигателямъ относятся *человѣкъ и нѣкоторые домашнія животныя*, главнымъ образомъ лошади и волы. Способы производства работы живыми двигателями весьма различны: они могутъ работать или при помощи машинъ или безъ нихъ.

Источникъ механической работы живыхъ двигателей заключается въ ихъ мускульной силѣ, которая обусловливается способностью мышцъ сокращаться. Однако эта способность, по свойству организма утомляясь, не можетъ проявляться непрерывно и въ одинаковой степени. Подъ вліяніемъ усталости организма она ослабѣваетъ, но можетъ быть снова возобновлена болѣе или менѣе продолжительнымъ отдыхомъ. Въ этомъ заключается существенное отличие живыхъ двигателей отъ неодушевленныхъ (давленія воды, упругости пара...). Первые не могутъ работать *непрерывно*, но по прошествіи некотораго времени устаютъ и требуютъ отдыха, соотвѣтствующаго затратѣ силъ во время работы, но только при этомъ условіи они могутъ работать безъ вреда для своего здоровья.

Напряженіе живыхъ двигателей весьма различно и зависитъ не только отъ породы ихъ, но измѣняется у животныхъ одной и той же породы въ зависимости отъ *сложности* двигателя, его *возраста*, степени *привычки* къ производству работы, отъ *содержанія*, т. е. отъ ухода за нимъ, *рода работы* и т. п. Такъ какъ эти условія измѣняются до безконечности, то нѣтъ возможности принять ихъ въ соображеніе, поэтому въ дѣйствіи мы будемъ предполагать, что животное привычно къ работѣ, средняго возраста, хорошаго состоянія здоровья и хорошо содержится.

Мѣрою при дѣйствіи живыхъ двигателей служитъ *суточная работа*. Пазыная буквою *F* величину усилія двигателя, буквою *v* скорости точки приложенія его въ направленіи силы и *t* число секундъ, заключающихся въ *рабочемъ днѣ*, т. е. во всемъ времени, въ теченіе котораго двигатель работаетъ съ полнымъ усиленіемъ, получимъ слѣдующее выраженіе для суточной работы:

$$L = Fvt.$$

На величину суточной работы, сверхъ вышеозначенныхъ усло-

вій вміють впливає: *величина усилія, скорости и времени работы*, которые измѣняются вмѣстѣ съ характеромъ работы, а также со способомъ ея производства <sup>1)</sup>. Съ измѣненіемъ этихъ величинъ измѣняется и суточная работа, но не трудно видѣть, что для каждаго двигателя и для каждаго рода работы она способна достигнуть наибольшей величины. Въ самомъ дѣлѣ, усилие  $F$  и скорость  $v$  имѣютъ свои предѣльныя величины. Опытъ же показываетъ, что двигатель при этихъ наибольшихъ значеніяхъ усилія и скорости можетъ работать только очень короткое время. При томъ если онъ дѣйствуетъ съ наибольшимъ усиленіемъ, то скорость его или равна нулю или очень мала. Напр., человекъ можетъ оказать наибольшее усилие стоя на мѣстѣ, т. е. наибольшему  $F$  соответствуетъ  $v = 0$ , а, слѣд., работа  $Fvt$  также равна нулю. Съ другой стороны при наибольшей скорости усилие, оказываемое двигателемъ, весьма мало, такъ что произведеніе  $Fvt$  выходитъ опять весьма мало <sup>2)</sup>.

И такъ, при наибольшихъ (и наименьшихъ) величинахъ усилія и скорости величина суточной работы близка къ нулю. Подобное же влияніе имѣетъ на эту работу и продолжительность, суточной работы (отсюда слѣдуетъ, что для каждаго двигателя, при опредѣленномъ способѣ приложенія его усилія существуетъ такая система величинъ (среднихъ)  $F$ ,  $v$  и  $t$ , при которыхъ нѣ произведеніе т. е. суточная работа, получаетъ *наибольшую* величину. Эти значенія  $F$ ,  $v$  и  $t$  наз. *наименовѣннѣйшими*. Они опредѣляются для каждаго двигателя изъ опыта.

**90. Наивыгоднѣйшія величины усилія, скорости и рабочего дня** Первые опыты надъ работою живыхъ двигателей были произведены *Кудомомъ*. Вслѣдствіи данныхъ, выведенныхъ имъ изъ опытовъ, были выполнены *Навье, Герсннеромъ, Мачекомъ* и многими другими учеными. Въ слѣдующей таблицѣ сгруппированы важнѣйшія данныя, относящіяся къ работѣ человека, лошади и вола.

<sup>1)</sup> Напр., напряженіе лошади, везущей телегу по шоссе, вѣнчается съ вѣсомъ телеги, состояніемъ шоссе, діаметромъ осей и колесъ, состояніемъ спяски, наклономъ дороги и т. п., сверхъ того лошадь можетъ везти телегу шагомъ, рысью или галопомъ, въ послѣднемъ случаѣ она можетъ работать только очень короткое время и ея сила тяги уменьшается, такъ что произв.  $Fvt$ , въ которомъ множитель  $v$  великъ, а множители  $F$  и  $t$  весьма малы, можетъ оказаться менѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда лошадь работаетъ съ менѣею скоростью.

<sup>2)</sup> Легко объяснить этотъ фактъ, прикладъ въ соображеніе, что усиліе двигателя не все идетъ на побѣжденіе вѣншихъ сопротивленій, часть его затрачивается на приведеніе въ движеніе массы самого двигателя. Потери эти тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость движенія, такъ что для каждаго живаго двигателя существуетъ вѣншая скорость, при которой сила тяги его будетъ равна нулю.

РОДЪ РАБОТЫ	P	v	Pv	t	Pvt
	kg	м.	к. м.	час.	суточная работа вт. к. м.
<b>Рабочій</b> поднимается по наклону или по лестницѣ; работа состоитъ въ поднятіи собственного вѣса (§ 100).	65	0,15	9,75	8	280,500
» тянетъ или толкаетъ по горизонтальному направлению. На холмѣ . . .	12	0,60	7,20	8	207,360
» вертитъ рукоятку . . .	8	0,75	6,00	5	172,800
» качаетъ рычагъ насоса . . .	6	0,75	4,50	10	162,000
» поднимаетъ грузъ посредствомъ олока . . .	18	0,20	3,60	6	77,760
» поднимаетъ грузъ на спигѣ по наклону или лестницѣ и возвращаетъ-ся безъ груза . . . . .	65	0,04	2,60	6	56,160
» поднимаетъ грузъ при помощи тачки и возвращается съ порожнею . . . . .	60	0,02	1,20	10	43,200
<b>Лошадь.</b> запряженная въ телегу. везетъ шагъ и т. . . . .	70	0,90	63,02	10	2,168,000
» работаетъ на конномъ приводѣ шагомъ . . . . .	45	0,90	40,50	8	1,166,400
<b>Воля</b> работаетъ на конномъ приво- дѣ шагомъ . . . . .	65	0,60	39,00	8	1,123,200

Въ среднемъ выводѣ, работы человѣка, лошади и вола относятся между собою какъ числа 1:6:5.

Такъ какъ всякое уклоненіе отъ невыгоднѣйшихъ величинъ силы, скорости и рабочего дня влечетъ за собою ум. вышеніе суточной работы двигателя, то его только заставляютъ работать при этихъ невыгоднѣйшихъ условіяхъ. Впрочемъ, какъ показали многочисленные опыты, наибольшія уклоненія отъ невыгоднѣйшихъ значеній силы, скорости и рабочего дня не влекутъ за собою замѣтныхъ измѣненій въ величинѣ работы. Одно изъ весьма цѣнныхъ для практики свойствъ двигателей заключается въ ихъ способности работать, въ случаѣ необходимости, съ уменьшеніемъ скорости вдвое и даже четверо большими невыгоднѣйшихъ. Опыты показали, что такое уменьше двигателей можетъ произойти безъ вреда для себя, если они работаютъ съ остатками, которыми должны повториться нѣмъ чаще, нѣмъ болѣе усиліе и скорость уклоняются отъ невыгоднѣйшихъ величинъ.



**91 Формула Машека.** Выше мы видели, что живой двигатель доставить наибольшую дневную работу, когда он работает при наивыгоднейших условиях, т. е. с наивыгоднейшим усилием и скоростью. Работая с другою скоростью, двигатель будет производить иное усилие и суточная работа уменьшится. Взаимный замѣна усилий и скорости подчиняется определенному закону, точный вывод которого представляет однако чрезвычайно трудную, по возможности приложить въ соображеніе все обстоятельства, задача, влияющая на силу двигателя. Изъ эмпирическихъ формулъ наибольшее соответствие действительности формула, предложенная чешскимъ инж. Машекомъ:

$$F' = F \left( 2 - \frac{v'}{v} - \frac{t'}{t} \right) \dots \dots \dots (19)$$

гдѣ  $F$ ,  $v$  и  $t$  суть наивыгоднѣйшія величины усилия, скорости и времени, приведенныя въ таблицѣ § 40,  $F'$  — усилие, соответствующее скорости  $v'$  и времени  $t'$ .

Если работойъ день остается въ предѣлахъ наивыгоднѣйшихъ величинъ отъ 8 до 10 час., какъ это обыкновенно и бываетъ, то предыдущая формула получить болѣе простой видъ:

$$F' = F \left( 2 - \frac{v'}{v} \right) ;$$

а величина суточной работы будетъ:

$$L = 3600 \left\{ 2 - \frac{v'}{v} \right\} F v t.$$

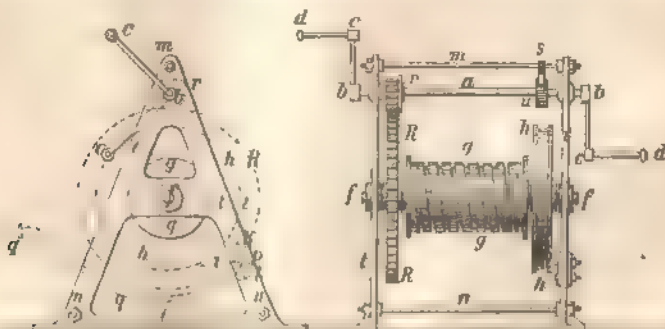
Эта работа замѣняется вѣсъ со способами приложения усилий двигателя и достигать наибольшей величины  $L_{\max} = 3600 F v t$  при  $v' = v$ . Если работа идетъ съ наивыгоднѣйшею скоростью, но лишь въ течение короткихъ промежутковъ времени ( $\alpha = 0$ ), за которыми слѣдуютъ промежутки отдыха, то  $t' = 2t$ , т. е. двигатель можетъ оказать усилие такое болѣе низкаго цѣлѣбнаго. Если при томъ двигатель работаетъ съ весьма малой скоростью, то онъ можетъ развить усилие вдвое болѣе низкаго цѣлѣбнаго.

**92. Пріемники работы человѣка.** Роль человѣка какъ механическаго двигателя сравнивается съ каждымъ днемъ сила человѣка замѣняется повсюду неодушевленными двигателями или силою животныхъ<sup>1)</sup>. Однако есть случаи, когда человѣкъ незаменимъ, какъ двигатель. Тѣло человѣка можетъ принимать положенія, до озкоченночнотн разнообразныя, поэтому оно представляетъ самую удобную машину, какую только можно употребить въ случаяхъ сложныхъ работъ, требующихъ непрерывныхъ измѣненій усилия, скорости и направленія движенія.

<sup>1)</sup> Сравненіе стоимости содержанія живыхъ двигателей съ паровою машиною показываетъ, что работъ, равная 1 паровой лошади до таковыиъ чолвѣкомъ, обходится почти въ 1' разъ дороже той же работы, доставляемой паровою машиною, а то же количество работы, доставляемое лошадью обходится въ 8 разъ дороже.

Человѣкъ можетъ произвести механическую работу троякимъ образомъ: мускульною силою *рукъ, ногъ и собственнымъ весомъ*. Пріемниками движущей силы рукъ служатъ: 1) *рукоятка*, употребляемая во всѣхъ ручныхъ машинахъ съ непрерывнымъ вращательнымъ движеніемъ, напр., въ *вороткахъ* (фиг. 98), *помкратахъ* (фиг. 101), *кранахъ* (фиг. 103), 2) *рычагъ* (шпиль, насосы, храповые механизмы...), 3) *ручные инструменты*, употребляемые въ различныхъ ремеслахъ: столярномъ, слесарномъ...; наконецъ 1) *веревки*, которыхъ пользуются при поднятіи грузовъ посредствомъ блоковъ, напр., въ обыкновенныхъ *контрахъ*, служащихъ для виванія свай. Движущая сила ногъ находитъ приложеніе въ разнаго рода *педальгахъ* (позные токарные станки, точильные камни, швейные машины, кузнечные молоты...), мускульною же силою ногъ человекъ работаетъ при ходьбѣ и передвиженіи грузовъ по горизонтальному направлению. Наконечъ пріемниками работы *веса* человекъ служатъ машина *Колѣса* (фиг. 106) и такъ наз. *лобовыя* или *ступенчатые* колеса, представляющія воротъ, на валу котораго вмѣсто рукоятки насажено деревянное колесо большаго діаметра (до 5 м.), снабженное ступеньками, по которымъ переступаетъ рабочий, оставаясь на одномъ и томъ же мѣстѣ.

**98. Сложный воротъ или лебедка.** Если воротомъ требуется преодолѣть большое сопротивленіе, то вводягъ, для выигрыша въ силѣ, систему зубчатыхъ колесъ. Такой сложный воротъ носитъ названіе *лебедки* (фиг. 98). Онъ состоитъ изъ двухъ чугунныхъ станинъ *t, t*, стянутыхъ тремя болтами *m, n, p*. Лебедка имѣетъ двѣ



Фиг. 98.

оси: *рабочую a*, снабженную двумя рукоятками *d, d* и шестернею *г*, и *грузовую ff*, на которой насажены большое зубчатое колесо *R*, сцепляющееся съ шестернею *г*, и пустотѣлый чугунный барабанъ *g*, гладкій, если на него наматывается канатъ и снабженный винтовою канавкою (для помѣщенія звеньевъ обыкновенной цѣпи), если

на него наматывается трос. Собачка с, подвешенная к болту и входящая между зубьями храпового колеса и препятствующая обратному движению груза при остановке двигателя.

Для замедления спуска груза лебедка снабжается *тормозом* h, устройство которого показано отдельно на фиг. 99. Он состоит из колеса AA<sub>1</sub>, охватываемого гибкою стальной полосой ВВ<sub>1</sub>. Концы полосы прикреплены к оконечностям колючатого рычага ВСК, вращающегося около неподвижной оси D. Нажиманием вниз конца К рычага возбуждается сильное трение между стальной полосой и ободом тормозного колеса, способное поглотить значительное количество движущей работы.

Смотря по числу рабочих, *рукоятки* делятся одноконные или двойные; въ последнемъ случаѣ рукоятки рассчитываются подъ угломъ 180°, съ цѣлью равномернѣе распредѣлить давленіе рабочихъ, которое измѣняется въ теченіе оборота, именно при опусканіи рукоятки болѣе, а при подниманіи менѣе средняго, и эти отклоненія отъ средняго давленія тѣмъ значительнѣе, чѣмъ неуровненнѣе работы. Поэтому рукоятку соединяють съ *механизмомъ*, какъ въ некоторыхъ сельскохозяйственныхъ машинахъ (соломорѣзкахъ, насосахъ и др.) вѣдываая ручку въ одну изъ силъ маховика. Чтобы рабочий безполезно не утомился безпрерывнымъ спусканіемъ и разгибаніемъ корпуса, ось рукоятки должна быть расположена на высотѣ груди, т. е. околу 90 см. отъ пола, а длина рукоятки должна быть отъ 30 до 40 см. Что же касается скорости ручки, то она должна быть отъ 0,55 до 0,6 метр., что соответствуетъ 20—30 или болѣе оборотамъ, смотря по длине рукоятки.

**94. Равновѣсіе простой лебедки** Пусть Р будетъ движущая сила, дѣйствующая на рукоятку, Q—поднимаемый грузъ, L, p, r и R—длина рукоятки и радиусы барабана, шестерни и колеса. Вѣдѣствіе дѣйствія силы Р зубцы шестерни производятъ давленіе на зубцы колеса, которое въ свою очередь оказываетъ прогнвѣдѣствіе, равное этому давленію, послѣднее можно считать направленнымъ по касательной въ начатымъ окружностямъ, назовемъ его буквою X. Кроме этихъ силъ дѣйствующихъ еще безполезныя сопротивленія треніе шиповъ въ подшипникахъ, треніе въ зубцахъ и жесткость наматывающейся веревки или троса. Для равновѣсія надо, чтобы моментъ движущей силы былъ равенъ суммѣ моментовъ всѣхъ сопротивленій относительно каждой оси. Поэтому, не принимая пока въ расчетъ безполезныхъ сопротивленій, будемъ имѣть для равновѣсія на рабочей оси PL. Аг и на грузовой XR—Qp, откуда:

$$P=Q \frac{p}{L} \dots \dots \dots (20)$$

**95. Принимая въ расчетъ безполезныя сопротивленія, получимъ условіе равновѣсія для рабочей оси:**



Фиг. 99.



для того, чтобы собачка (2) закреплена к станине. Къ боцу  $m$  подвешена такъ называемая *шпилька* охватывающая шейку оси  $a$  она препятствуетъ поспѣней перетягиваться въ свою подшипниковую. Отбросивъ зашпильку, можно протянуть валъ  $a$  съѣзда на право, причѣмъ первый (лѣвый) его шестерня расшлѣтся съ колесомъ  $R'$ , а вторая (справа) войдетъ въ зацепленіе съ колесомъ  $R$  и порогъ будетъ работать какъ простой лебедь.

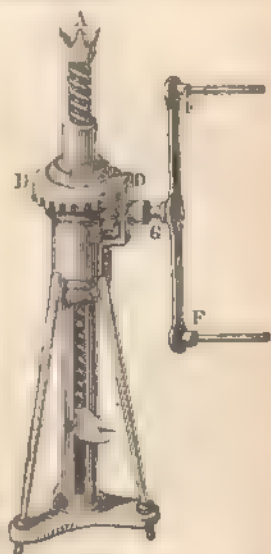
**97. Домкраты** Домкраты служатъ для поднятія большихъ грузовъ въ незначительную высоту. Они раздѣляются на домкраты съ *зубчатою рейкою* и *винтовые*.

*Домкратъ съ зубчатою рейкою* (фиг. 101) состоитъ изъ зубчатой полосы  $A$ , поддерживающей грузъ *головкою*  $A$  или *крюкомъ* (ногую), въ который изогнутъ нижній конецъ рейки. Последняя сцепляется съ шестернею  $C$ , на одной оси съ которою насажено колесо  $B$ , сцепляющееся въ свою очередь съ шестернею  $D$ , которая приводится въ движеніе усилиемъ, приложеннымъ къ рукояткѣ  $E$ . Чтобы при остановкѣ дѣйствія рейка не приняла обратнаго движенія, на ось рукоятки насаживаютъ храповое колесо съ собачкою; иногда же собачка упирается прямо въ зубцы рейки.



Фиг. 101.

Въ *винтовомъ домкратѣ* (фиг. 102) зубчатая рейка замѣнена винтомъ, входящимъ въ гайку  $C$ , которая сцеплена въ доминое зубчатое колесо  $D$ . Это последнее сцепляется съ шестернею  $E$ , которая приводится въ движеніе рукояткѣ  $F$ .



Фиг. 102.

Пренебрегая влияніемъ се сопротивленій и сохраняя будущаго прѣжнія значенія (§ 95) получимъ движеніемъ уже формулы:

для домкрата съ *рейкою*:

$$P = Q \frac{r'}{L R} \quad (21)$$

гдѣ  $r$  и  $r'$  суть радиусы шестеренъ  $D$  и  $C$ ,

для *винтового домкрата*:

$$P = Q \frac{r'}{L R} \tan \alpha + Q \frac{h}{\pi L R} \quad (22)$$

гдѣ  $r$ ,  $h$  и  $\alpha$  суть средній радиусъ, ходъ и уголъ наклона винта.



98. Вводя безполезныя сопротивленія, получимъ для домкрата съ рейкою два уравненія:

$$PL = Xr + f_2 \left\{ (P + X)^2 + G^2 + f_1 X \pi \left\{ \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right\} r, \pi \right.$$

$$\Delta R = Qr + f_2 \left\{ X^2 + (Q + G)^2 + f_1 \frac{1}{m} (Q + G) r, \right.$$

гдѣ  $G$  есть вѣсъ шестерни  $D$ ,  $G_1$  — вѣсъ колеса  $B$  съ шестернею  $C$ ,  $G_2$  — вѣсъ рейки, а  $m$ ,  $m'$  и  $n$  суть числа зубцовъ колесъ  $D$ ,  $B$  и  $C$ .

Для винтового домкрата получимъ:

$$PL = Xr + f_2 \left\{ (P + X)^2 + G^2 + f_1 X \pi \left\{ \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right\} r, \pi \right.$$

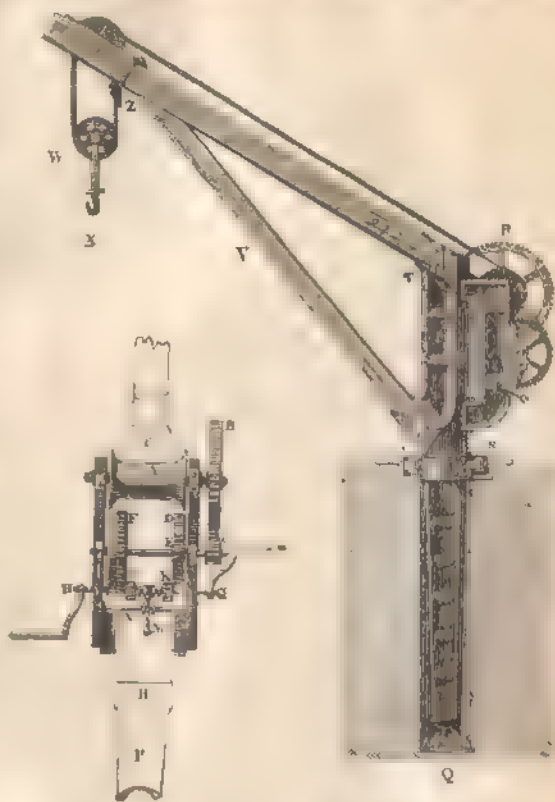
$$XR = Q \tan(\alpha + \varphi) = Qr \frac{h + 2\pi r}{2\pi r - fh},$$

гдѣ  $h$  — ходъ винта,  $r$  — его средний радиус (трение на нижнемъ основаніи гайки въ расчетъ не принимаемъ). Изъ этихъ уравненій не трудно вывести зависимость между усилиемъ  $P$  и поднимаемымъ грузомъ  $Q$ .

99. **Краны или журавли.** Краны составляютъ важнѣйшій вспомогательный механизмъ для подъема большихъ грузовъ и для передвиженія ихъ по горизонтальному направленію. Главную часть крана составляетъ вертикальная стойка, вращеніемъ которой достигаются горизонтальныя перемѣщенія грузовъ. Такіе краны наз. *поворотными*. Къ стойкѣ прикрепляется сложный воротъ, на барабанъ котораго наматывается канатъ или тѣло поддерживающіе грузъ. Въ *подъемныхъ* или *тяговыхъ* кранахъ воротъ снабжается 4 колесами и ставится на рельсовый путь, укладываемый на извѣстной высотѣ или неопредѣленно (*медведка*) или такъ, что весь путь (*мосты*) можетъ промѣщаться по особымъ рельсамъ (*мостовые краны*).

На фиг. 103 представленъ поворотный кранъ, построенный фр. инж. *Каве*. Вертикальный валъ  $PQ$  крана погруженъ въ шахту, сдѣланную въ фундаментѣ, и опирается нижнимъ концомъ о подпятникъ  $Q$ , шейка  $K$  вала замыкаетъ вторую цапфу, которая вмѣстѣ съ нижней поддерживаетъ ось крана въ вертикальномъ положеніи, позволяя ему вращаться около этой оси. Къ валу  $PQ$  укреплена наклонная балка  $TI$  (*стрѣла*), имѣющая на концѣ своемъ неподвижный блокъ. Для поддержки стрѣлы служитъ *попечокъ* (*уколки*)  $V$ , однимъ концомъ укрѣпленный къ стрѣлѣ, а другимъ къ балкѣ, опилому также съ валомъ  $PQ$ . Къ послѣднему прикрѣпленъ воротъ  $A$ . Цѣль, обходящая неподвижный блокъ  $U$  и подвижный  $W$ , прикрѣплена однимъ концомъ  $Z$  къ стрѣлѣ, а другимъ навита на барабанъ  $X$  воротъ. Поднимаемый грузъ подвѣшивается къ крюку  $H$ , прикрѣпленному къ обоймѣ подвижнаго блока. На одной оси съ воротомъ насажено зубчатое колесо  $B$ , приводимое въ движеніе шестернею  $C$  (фиг. 104), насаженною на

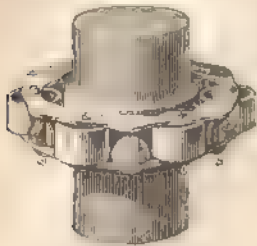
одни валъ съ зубчатымъ колесомъ D, съ послѣднимъ сцепляется шестерня F, на оси которой закинута веревка. Оси колесъ D и F лежатъ на одномъ уровнѣ, такъ что вторая закрываетъ совершенно первую на фиг. 103. Подъ этими колесами видна ось GH, которая проходитъ спереди нижней части колеса D и позади нижней части колеса F. На этой оси, имѣющей съ обѣихъ сторонъ рукоятки, насажены двѣ шестерни K и L, которыя можно двигать вправо и лѣво вмѣстѣ съ осью посредствомъ рычага M; вслѣдствіе этого могутъ быть приведены въ сцепленіе или шестерня K съ колесомъ D или же шестерня L съ колесомъ F, имѣющимъ одинаковый діаметръ съ D. Въ положеніи, представленномъ на фиг., шестерни K и L не зацепляютъ колесъ и воротъ не вращаются. Если продвинуть шестерню K вправо, то при вра-



Фиг. 104.

Фиг. 103.

изводить сильное боковое давление своей шейкою R въ окружающую его коробку S. Для уменьшенія бокового тренія шейки прокладывается между этою шейкою и стенками коробки особая система горизонтальных катков s, s, укрепленных своими пафами въ двухъ горизонтальных кольцах наконецъ, между гориз-

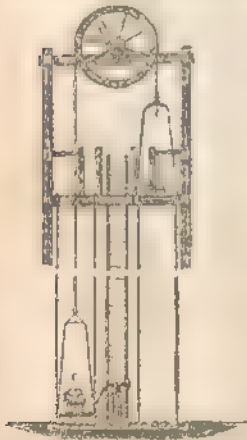


Фиг. 105.

катками s, s помѣщаются вертикальные катки s', s' (фиг. 105) служащие для преобразования скользящаго тренія нижняго кольца по его основанію въ треніе 2-го рода.

Краны пользуются обширнымъ употребленіемъ, ихъ можно встрѣтить почти повсюду на желѣзныхъ дорогахъ и горнорудныхъ верфяхъ они служатъ для нагрузки и выгрузки товаровъ въ машинныхъ мастерскихъ для переизмѣненія часен машинъ при ихъ обработкѣ или сборкѣ, въ литейныхъ мастерскихъ для передвиженія большихъ оливокъ, моделей и бѣликовъ и т. п.

**100 Машина Коанье.** Въ 1835 г. фр. инж Коанье построилъ, по идеѣ Кулона, подъемную машину для крѣпостныхъ работъ, при помощи которой



Фиг. 106.

аналогичныя массы земли были подняты на высоту 13 м. Машина эта состоитъ изъ бѣлаго блока А (фиг. 106), черезъ который перекинуть канатъ, къ концамъ котораго прицѣплены двѣ платформы В, С. На нижнюю платформу ставятъ тачку съ землею, а на верхнюю помѣщаютъ рабочий съ пустой тачкою. Вѣсъ земли въ первой тачкѣ долженъ быть несколько меньше вѣса работанаго тогда платформа, на которой онъ стоитъ, опускается, а нагруженная поднимается. Онутившись внизъ рабочий всходитъ, опять наверхъ по особой лѣстницѣ. Къ этому времени сверху убираютъ тачку съ землею и ставятъ на мѣсто другую, а внизъ на платформу ставятъ нагруженную тачку. Поднявшись по лѣстницѣ рабочий становится опять на верхнюю платформу, причемъ платформы будутъ двигаться въ обратномъ порядкѣ и т. д.

Какъ видно изъ таблицы § 90, этотъ способъ работы человека самый выгодный работа его въ секунду составляетъ около 1 пар лошади.

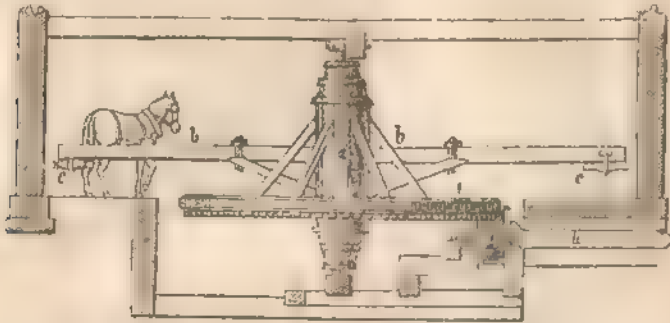
### 101. Пріемы работы животныхъ.

Въ Россіи изъ домашнихъ животныхъ наиболее употребляются, какъ двигатели, лошади и волы.

Животныя могутъ производить работу двоякимъ образомъ 1) мускульной силой ногъ и 2) табачнымъ способомъ. Способы приложенія мускульной силы животныхъ отличаются тягью въ на, раздѣл и движенія самого животного. Ихъ заставляютъ двигаться на рыскахъ (водила), такъ на х. коньяхъ, припрячь или минежен, или пользуются для перемѣненія грузовъ выюкомъ, въ повозкахъ

или водою (на судах). Къ приспикамъ вѣса животныхъ относятся *тончаки*, представляющие наклонную плоскость, которая получаетъ движение дѣйствіемъ касательной составляющей вѣса животного, по ней переступающаго.

**102. Постоянный конный приводъ.** На фиг. 107 представленъ постоянный манежъ простѣйшаго устройства. Существенную

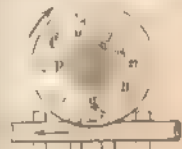


Фиг. 107.

часть его составляетъ деревянный вертикальный валъ *a*, на которомъ насажено зубовое зубчатое колесо *l*. Къ последнему прикрѣплены деревянные рычаги *b, b*, носящие названіе *водилъ*.

Къ свободному концу водила прирѣзается животное, которое, двигаясь по окружности, сообщаетъ валу вращательное движеніе. Движеніе это передается посредствомъ шестерни *g* горизонтальному валу *h* отъ котораго получаетъ движеніе рабочая машина. Такъ какъ при остановкѣ животного водило продолжаетъ двигаться по инерціи, то, во избежаніе вреда животнаго, шестерня *g* дѣлается *протѣсною*. Устройство ея показано на фиг. 108. Шестерня насажена вольно на валу *h* и снабжена брускомъ *o*, пропущеннымъ черезъ ея дискъ. На томъ же валу на типеръ эксцентрической хомутъ *pqr*, снабженный борозкою *m*, къ которой брусокъ *o* прижимается пружиной *a*. Высота диска, въ который вложенъ брусокъ *o*, дѣлается вѣдое болѣе высоты борозды. При движеніи двигателя брусокъ *o*, захватывая борозду *m*, сообщаетъ движеніе хомуту и валу. Если же двигатель остановится, то хотя валъ *h* и продолжаетъ, по инерціи, вращаться, но ни шестерня, ни колесо *l* не будутъ участвовать въ движеніи ибо брусокъ *o* будетъ лишь скользить по внешней поверхности хомута и раскакивать съ борозды, имѣя возможность то осыпаться, то подниматься.

Дѣла сама и способъ прирѣзки къ нему животного имѣютъ влияние на удобство работы. При движеніи по окружности животное при каж-



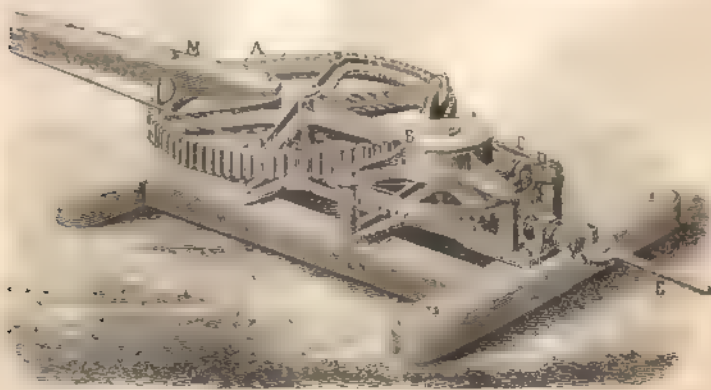
Фиг. 108.

домъ шагъ должно переставлять ногу нѣсколько въ сторону. Чѣмъ меньше радиусъ окружности, тѣмъ больше должно быть боковое перемѣщеніе ноги. Такъ какъ при павѣстномъ предѣлѣ это обстоятельство чрезвычайно затрудняетъ животное, то оно начинаетъ по инстинкту, дѣлать короче шаги. Поэтому уменьшается его скорость и сила тяги. Это уменьшение силы тяги, какъ показали опыты, составляетъ, при длинѣ водила: 2, 3, 4, 5, 6 метровъ, 13%, 6%, 3%, 2% и 1%. Отсюда видно, что *наимыоышшая длина водила равна 6 м.*, однако на практикѣ, съ цѣлю сбереженія убога и упрощенія передачи, длина водила дѣлается обыкновенно отъ 3 до 4 м. Длиныя водила скрѣпляются между собою деревянными, веревочными или цѣпными раскосами. Къ свободному концу водила лошади припрядается козочью, оловяною, оловяною или постромкою съ вѣлками, а ноль помощью яремъ. Напуганный способъ запряжки лошади представляютъ постромки, при которыхъ она получаетъ бѣзую свободу движения. Длина постромковъ должна быть около 2 м. Если чредо лошадей, работающіхъ въ манежѣ, не болѣе 4, то каждая припрядается къ отдѣльному водилу, если болѣе, то попарно. Въ послѣнемъ случаѣ, какъ показывается опытомъ, каждое животное достигаетъ менѣе работы, несли дѣйствуя отдѣльно. Наконецъ, чтобы лошадь ходила по кругу, не удаляясь и не приближаясь къ его центру, употребляютъ веревка, одинъ конецъ которой привязывается къ лошади, а другой къ концу впередѣ находящагося водила.

Какъ видно изъ таблицы § 90, работа доставляемая лошадью въ манежѣ, немного болѣе половины паровой лошади. Часть этой работы гасится на преодоленіе вращающаго сопротивленія манежа, такъ что полезная работа, передаваемая исполнителямъ механизму, менѣе полной работы, производимой двигателемъ. На основаніи опытовъ, произведенныхъ при конкурсахъ въ Оксфордѣ и Свенборнѣ, можно принимать коэфф. полезнаго дѣйствія въ манежахъ съ 1 парой зубчатыхъ колесъ равнымъ отъ 80 до 90%, съ 2 парами отъ 70 до 80% и съ 3 парами отъ 60 до 70%.

Манежи употребляютъ въ трехъ случаяхъ: когда непрерывность и равномерность движенія рабочей машины не составляютъ существеннаго условія, напр. для поднятія воды насосами, для размельченія маслянистыхъ смѣсей для мала и шпиль на кирпичныхъ заводахъ, для движенія сельскохозяйственныхъ машинъ, молотилокъ, вѣлодокъ.

### 103. Переносный манежъ (фиг. 109). Основніемъ этого ма-



Фиг. 109.

нежа служить деревянная станина, которая укрѣпляется прочно



помощью колеблется, поглощаемых въ землю по обѣимъ сторонамъ тѣхъ станинъ. Манежъ состоитъ изъ цилиндрическаго колеса А, снабженнаго гнѣздами, въ которыхъ укрѣпляются воила М. Цифра этого колеса отлита заодно съ чугунною фундаментною плитою, привинченною къ станинѣ болтами. Вращеніе колеса А передается шестернею В коническому колесу С, сидящему на одной съ нѣю оси; отъ колеса С движеніе передается помощью конической шестерни валу Е, соединенному шарниромъ Гукъ съ рабочей машиною. Наклонною роликъ D служитъ для обезпеченія правильнаго заклиненія колесъ, устраняя перекликиванія, могущія произойти вслѣдствіе неизбежныхъ качаній водилъ.

Для быстроходящихъ рабочихъ машинъ долженъ быть устроенъ или при манежѣ или при рабочей машинѣ *продольной* ерость водилъ, который позволялъ бы машинѣ, при внезапныхъ остановкахъ двигателя, продолжать свое движеніе, не увлекая за собою манежа, что необходимо для приближенія унѣла животного. На фиг. 110 изображено одно изъ напущенныхъ подобныхъ соединеній, допускающее вращеніе манежа въ обѣ стороны. На ~~рисункѣ~~ разсѣчномъ вѣдѣ О свободно насажены муфта А, состоящая изъ одного плеча съ вилкою шарнира Гукъ, и рядомъ заклиненный дискъ В, снабженный выступами. Въ эти выступы упирается сойка С постоянно нажимаемая дружиною и приводитъ валъ по вращенію по стрѣлкѣ, между тѣмъ какъ при остановкѣ манежа сойка С можетъ лишь соскочить съ выступовъ диска В. Переключить сойку въ противоположное положеніе, обратное шарниромъ, можно получить движеніе въ противоположную сторону.

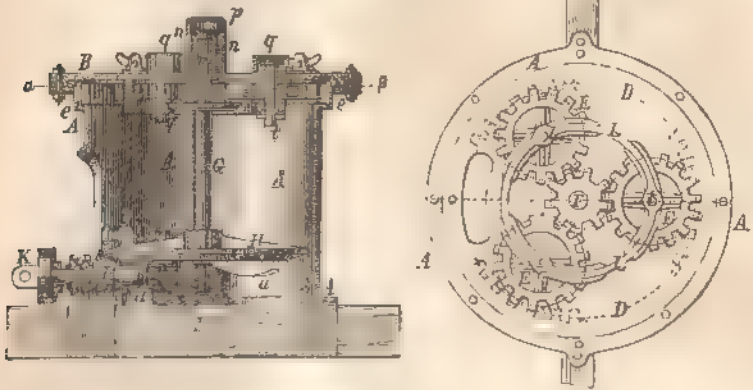


Фиг. 110

**104. Конный приводъ Варрета - Андрияса.** Манежъ этотъ, отличающийся весьма компактнымъ устройствомъ, появился впервые въ 1851 г. на лондонской всемірной выставкѣ. Онъ снабженъ планетнымъ механизмомъ, существомъ котораго была уже нами разсмотрѣна раньше (§ 60).

Весь механизмъ заключенъ внутри чугуннаго цилиндра А (фиг. 111), который прикрѣпленъ болтами къ деревянной станинѣ Z. Сверху цилиндръ этотъ прикрытъ крышкою В, которая можетъ свободно вращаться вокругъ краевъ цилиндра, а снизу открытъ и снабженъ 4 ручками д, несущими втулку для вертикальнаго вала манежа. Къ верхнему краю цилиндра А прилитъ внутренній зубчатый вѣнecъ Е неподвижный, какъ и самъ цилиндръ А. Съ этимъ вѣнцомъ сѣтиваются три одинаковыя шестерни В, съ которыми сцеплена центральная шестерня Г, заклиненная на валу G манежа, свободно проходящемъ въ крышкѣ В. Ось і шестеренъ В установлены въ кольцо I, прилитомъ къ крышкѣ, и снабжены масля-

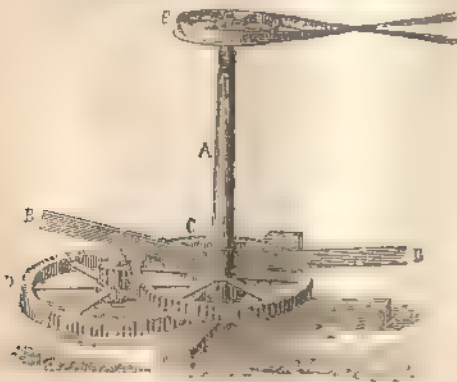
ками *q, q*. Водила прикрѣпляются къ крышкѣ *B*. При вращеніи послѣдней будетъ вращаться кольцо *L* съ шестернями *E, E, E*, при чемъ послѣднія заставляютъ вращаться шестерню *F*, отъ которой движеніе передается при помощи вала *G*, коническихъ колесъ *H* и шарнира Гула передаточному валу *K*.



Фиг. 111.

Для предупрежденія подниманія крышки къ ней привинчено снизу медьное (разрѣзное) кольцо *e*, захватывающее за фланецъ цилиндра *A*.

**105. Манежъ Пине.** Расположеніе рабочаго вала близъ поверх-



Фиг. 112.

ности земли, какъ это имѣетъ мѣсто въ предыдущемъ манежѣ, затрудняетъ равномерный ходъ животнаго. Въ манежѣ Пине (фиг. 112) этотъ недостатокъ устраняется исполнѣмъ устройствомъ верхней ременной передачи. Валъ манежа проходитъ внутри чугунной пустотѣлой колонны *A*, привинченной прочно болтами къ чугунной фундаментной доскѣ, которая прикрѣпляется къ основ-

ной оси, несущей на себѣ зубчатое колесо D, сцепляющееся съ шестернею, заклиенною на нижнемъ концѣ главнаго вала манежа. На верхнемъ концѣ этого вала насаженъ шкивъ E, отъ котораго вращеніе передается рабочей машинѣ.

Ведущій шкивъ E насаживается вольно на валу манежа и *получаетъ вращеніе при посредствѣ храпового колеса съ собачкою*; послѣдняя прикрѣпляется къ одной изъ спицъ шкива, а храповое колесо заклинивается на валу. При подобномъ устройствѣ, въ случаѣ внезапной остановки двигателя, рабочая машина будетъ продолжать двигаться, не увлекая за собою манежа.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится часто мѣнять мѣсто расползкоженія манежа, полезнѣй помѣщать *на колесный ходъ*, который при установкѣ привода вѣскою врывается въ землю и укрѣпляется клиньями.

**106. Наклонный кругъ.** Изъ приемниковъ работы вѣса животныхъ (*топчаковъ*) самый простой есть *наклонный кругъ*, представленный на (фиг. 113). Онъ состоитъ изъ наклоннаго вала АВ, укрѣпленнаго нижнимъ концомъ въ подпирникѣ, а верхнимъ въ подшипникѣ, которые утверждены въ поперечинахъ станины топчакъ, собранной изъ деревянныхъ брусьевъ. Съ валомъ АВ соединенъ посредствомъ ручки и подкосовъ переносимый крѣпкій къ нему кругъ С D, образующій досчатый помостъ со ступенями, по которымъ ходитъ животное и дѣйствіемъ составляющей своего вѣса, направленной изъ плоскости помоста, приводитъ кругъ въ движеніе. Чтобы животное не спускалось въ нижайшую точку помоста, его привязываютъ поводомъ къ неподвижному брусу. Вращеніе вала АВ передается рабочей машинѣ при помощи бѣзконечнаго ремня, перекинутого черезъ шкивъ, насаженный на верхнемъ концѣ вала, или при помощи лобоваго колеса и цѣпочной шестерни. Диаметръ помоста дѣлается не менѣе 3 саж., а уголъ наклона  $\alpha$  отъ  $10^\circ$  до  $20^\circ$ .



Фиг. 113

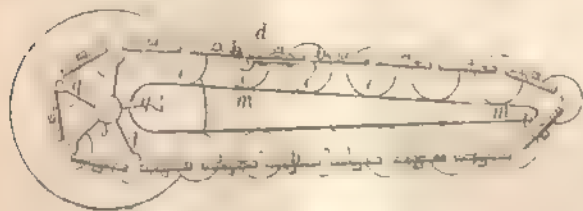
Главные недостатки этого рода топчакъ заключаются въ опасности для животнаго въ случаѣ его паденія, дороговизнѣ и неудобствѣ перевозки, по причинѣ громозкости приемника. Поэтому они употребляются у насъ (на югѣ Россіи) довольно рѣдко и все болѣе замѣняются *амриканскими* топчакъ, неимѣющими этихъ недостатковъ.

**107.** Вѣсъ Р животнаго можетъ быть замѣненъ двумя составляющими: Р Sin $\alpha$ , приводящею кругъ въ движеніе, и Р Cos $\alpha$ , нормальной къ кругу, т. е. направленною вдоль оси и произвоящею давленіе на пята, а также боковыя давленія на подшипники. Вѣсъ G топчакъ дѣлаетъ тоже тѣмъ составляющія: G Sin $\alpha$ , направленную перпендикулярно къ валу, а слѣдов., параллельно сопротивленію Q, и G Cos $\alpha$ , по направленію оси. Поэтому уравненіе равновѣсія приметъ видъ:

$$P \sin \alpha \cdot p - Qr + fr \left\{ (P + G) \sin \alpha - Q \right\} + \frac{2}{3} fr(P + G) \cos \alpha,$$

гдѣ  $p$  есть перпендикуляръ, опущенный изъ точки пересѣченія оси съ кругомъ на направленіе силы  $P \sin \alpha$ ,  $r$  радиусъ шкива, на который дѣйствуетъ преодолеваемое сопротивление  $Q$ , и  $\rho$  радиусъ цапфы, и гдѣ не приняты въ соображеніе, по ихъ незначительности, боковыя давленія въ цапфахъ, происходящія отъ силы  $P \cos \alpha$ , которая, производя давленіе на пазу, стремится въ тоже время опрокинуть топчакъ. Наконецъ, что касается вѣса животнаго (лошади или вола), то его можно принимать равнымъ 17 пуд.

**108. Американскій топчакъ** На фиг. 114 изображенъ одинъ изъ употребительнѣйшихъ въ Америкѣ топчаконъ системы Эмери. Главную часть топчаконъ составляетъ подвижный наклонный (около 15°) помостъ, собранный изъ поперечныхъ досокъ  $b, b$ , концы которыхъ прикрѣплены къ двумъ безконечнымъ цѣпмъ, соединеннымъ между собою поперечными желѣзными тѣлами, такъ что обѣ цѣпи движутся одновременно. На концахъ этихъ тѣлъ досажены небольшие чугунные ролики  $d$ , которые перекачиваются по рельсамъ,



Фиг. 114.

самъ, укрѣпленнымъ къ балкамъ станины. Лошадь помѣщается на помостъ и привязываютъ поводъ къ передней стѣнкѣ топчаконъ; при этомъ безконечный помостъ нач-

неть двигаться сверху внизъ, дѣйствіемъ вѣса лошади, которая сама будетъ оставаться на мѣстѣ. Работа ея аналогична съ тягою по наклону. При движеніи помоста свободные концы поперечныхъ соединительныхъ тѣлъ захватываютъ за вытобренные шипы двухъ колесъ  $b$ , заклиненныхъ на валу  $O$ , вращеніе котораго отъ шкива  $i$  сообщается, при помощи передаточныхъ колесъ съ утроенною передаточн., рабочей машинѣ. Къ шкиву  $f$  прицѣпленъ сильный тормозъ, служащій для остановки топчаконъ.

Топчаконъ Эмери строится на одну и двѣ лошади <sup>2)</sup>. На этихъ примѣнкахъ лошадь работаетъ какъ при прямолинейной тягѣ, и потому доставляетъ болѣе работы, нежели въ манежахъ. Но американскіе топчаконъ исполняютъ много работы на треньѣ, поэтому коэфф. ихъ полезнаго дѣйствія не многимъ болѣе коэфф. п. д.

<sup>1)</sup> При скорости лошади въ 1 м. валь  $O$  дѣлаетъ 52.5 оборота въ минуту, а передаточный въ 157.5 обор.

<sup>2)</sup> Они могутъ служить для какаго угодно животнаго, такъ въ Америкѣ строятся небольшіе топчаконъ для собакъ, служащіе для движенія маслосокъ.

конныхъ приводить <sup>1)</sup>. Точаки эти занимають мало мѣста, но требуютъ частаго ремонта полотно.

**109. Перевозка грузовъ животными.** Перемѣщеніе грузовъ животными производится *по дорогамъ*, при посредствѣ перевозочныхъ средствъ — повозокъ, вагоновъ и т. п., или безъ нихъ посредствомъ *т. е. вьюкомъ и вьюкомъ* на разнаго рода судахъ.

При передвиженіи грузовъ въ повозкахъ *по горизонтальному* пути работа затрачивается единственно на преодоленіе тренія 1-го рода изъ осей колесъ и тренія 2-го рода между колесами и дорогой. Она будетъ, следовательно, равна произведенію изъ пройденнаго пути на величину полного сопротивленія, вызываемаго нагнѣженіемъ постромковъ.

Такъ какъ оба эти тренія пропорціональны нормальному давленію, то и усилие  $P$ , необходимое для передвиженія груза  $Q$  (считая въ томъ числѣ и вѣсъ повозки) также пропорціонально перемѣщаемому грузу, т. е.

$$P = kQ \quad (23)$$

гдѣ  $k$  есть такъ наз. *коэффициентъ тяги*. Онъ измѣняется съ состояніемъ дороги въ предѣлахъ отъ 0,25 до 0,025, именно

для грунтовой дороги отъ . . . . .	0,250—0,040
» шоссе » . . . . .	0,125—0,033
» булыжной мостовой . . . . .	0,03
мостовой изъ квадровъ песчаника . . . . .	0,025

для рельсового пути при хорошемъ его состояніи коэфф. тяги принимается равнымъ 0,005.

Если дорога *не уклономъ*, то, обозначая буквою  $\alpha$  уголъ наклона и  $G$  вѣсъ животного, получимъ для усилия  $P$  выраженіе

$$P = kQ \cos \alpha \pm (Q + G) \sin \alpha \quad (24)$$

гдѣ знакъ  $(-)$  относится къ случаю тяженія подъ гору

По формуламъ (23) и (24) рассчитывается число  $n$  лошадей, необходимыхъ для передвиженія даннаго груза по данной дорогѣ, для чего надо знать силу тяги  $F$  каждой лошади, тогда  $P = nF$ .

По опытамъ Кулона, сила тяги  $F$  лошади можетъ быть принята равною  $\frac{8}{25}$  ея собственнаго вѣса такъ, лошадь вѣсомъ 270 килогр. можетъ, не двигаясь, оказать на постромки усилие  $270 \times \frac{8}{25} = 86,4$  кил. Въ движеніи сила тяги лошади уменьшается на  $\frac{1}{20}$  вѣса на каждомъ 0,1 метра. Такъ, при скорости 1,2 метра сила тяги лошади составитъ только  $86,4 - 270 \times \frac{1}{20} \times \frac{1,2}{0,3} = 32,4$  кил<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> По опытамъ Льюиса коэфф. полезнаго дѣйствія американскихъ топчакъ въ 20—26% больше, чѣмъ дѣйствіе конныхъ приводей.

<sup>2)</sup> «Паровая лошадь», какъ единица работы, была введена Уаттомъ, и



Должно замѣтить, что сила тяги, при одновременной запряжкѣ нѣсколькихъ лошадей не пропорциональна ихъ числу, а уменьшается среднимъ числомъ на 6%, по опытамъ *Вакельберга*) для каждой вновь припрягаемой лошади, принимая силу тяги первой лошади за единицу.

**110.** При тягѣ грузовъ *винто* на баркахъ и другихъ судахъ, двигатель преодолеваетъ сопротивленіе воды движению судна. При спокойной водѣ лошади можетъ тянуть бичевою до 6000 килорг.

Надо замѣтить, что касается *выбюхны* способу передвиженія груза, то, по опытамъ Кудона, двигатель можетъ тащить не двигаясь, на спускѣ грузъ равный  $\frac{2}{5}$  собственнаго вѣса двигателя. Изъ извѣстнаго вѣсннхъ груза уменьшается и это уменьшеніе можно принять равнымъ  $\frac{2}{5}$  вѣса для человека и  $\frac{1}{20}$  — для лошади на каждае 0,3 метра скорости

### ЗАДАЧИ.

**36** При извѣстныхъ опытахъ съ вѣжвмхъ *Проби* (фиг. 97), движеніе на платформу десятичтыхъ вѣсовъ было равно 100 kgr, плечо этого движенія 1—3,5 м число оборотовъ вала въ мин  $n=30$  вѣсъ рычага 20 kgr, и разстояніе ц тяжести рычага до оси вала 1,5 м. Какъ велика передвѣваемая работа?

**37.** Сравнить стоимость поднятія одного куб. метра воды на высоту 6 м. въ слѣдующихъ случаяхъ: 1) *Двигатель—человѣкъ*, (способы приложенія усилия а) вѣсъ рычага насоса: коэфф. полезнаго дѣйствія  $\eta=0,8$  б) вертѣть ручку ку воротъ  $\eta=0,85$  в) поднять воду при помощи неподвижнаго слѣза  $\eta=0,9$ . 2) *Двигатель—лошадь*. Работать при маневрѣ движущемъ насосѣ об щий коэфф. полезнаго дѣйствія  $\eta=0,6$  Содержаще въ сутки рабочаго 50 к лошади 1 р.

**38.** Два рабочихъ, дѣйствуя на порты съ простою передачею (фиг. 98) поднимаютъ грузъ  $Q=36$  пуд. диаметръ вала воротъ = 1 число зубцовъ на шестернѣ 7, на колесѣ 72 длина рукоятки  $1\frac{1}{2}$  ф. Въ неподвижныя сопротивленія, отнесенныя къ валу воротъ, составляютъ 18 % груза  $Q$ . 1) Определить усилие, равныя емы каждымъ рабочимъ. 2) Пользуясь формулою Миллера определить а) дѣйствительную скорость поднятія груза и б, коэфф. полезнаго дѣйствія машины.

**39.** Какой грузъ можетъ поднять рабочий дѣйствующій съ усилиемъ 8 kgr, при помощи сложнаго воротъ (фиг. 54), принявъ въ расчетъ всѣ сопротивленія движенію. Даны  $r=r_1=r_2=10$  см.,  $L=40$  с.,  $R=50$  с.,  $R=25$  с. Радиусы шлѣвъ а, б и в  $r=2$  с.,  $r=2,5$  с.,  $r=3$  с. диаметръ

опредѣленъ изъ наблюдений надъ работою лошади въ Кериваллійскихъ ко пяхъ. При помощи динмометра было найдено, что дѣйств. сила тяги лошади равная со скоростью 1 м. н. с. можетъ превышать въ точности 8 тысячъ фунт. 75 килорг. Слѣва, работа такой лошади въ секунду равна 75 к. м. Эта величина была принята за мѣру работы лошади, и подъ *единицею силы* раз зумѣется по тому работъ въ 75 к. м. въ секундѣ. Затѣ принявъ за едини цу пѣтрійна работы  $\frac{1}{10}$  изъвѣстныхъ измѣреній машинъ, почему эта едини ца получила названіе *паровой лошади*. Въ настоящее время, паровыми и иными парфретами не только работа шара въ паровыхъ машинахъ и и вѣхъ дѣ тыхъ двигателей.

каната  $\delta=2,5$  с. Вѣсъ шестерни  $a=14$  клг, колесъ А и В—40 клг, п вала С съ колесомъ В—50 клг. Шагъ зацепления  $p=5$  с.,  $f=0,11$ .

40. Рабочій поднимаетъ 1000 клг. поср винтового ворота. Дано: ходъ винта  $h=1$  с., радиусъ винтового колеса  $R=20$  с., радиусъ начального цилиндра винта  $r=4$  с., длина рукоятки  $L=30$  с., радиусъ вала ворота  $\rho=6$  с.,  $f=0,18$ . Определить вѣсъ поднимаемаго (не принимая въ расчетъ тренія въ цапфахъ и жесткости веревки).

41. Какой грузъ можетъ поднять одинъ рабочій при помощи домкрата съ зубчатой рейкой (фиг. 101), если длина рукоятки  $L=1$  шестерни, сидящая на двой осп съ рукояткою, имѣетъ 9 зубцовъ, передаточные колеса имѣютъ ихъ 40 радиусъ шестерни, ведущей рейку  $r=2$ . Безполезныя сопротивления, отнесенныя къ началной окружности послѣдней шестерни составляютъ 15%, грузъ  $G$  вѣсъ рабочего—30 фунт.

42. Определить, какое усилие можно приложить къ рукояткѣ винтового домкрата (фиг. 102), чтобы приподнять передѣлъ телеги, вѣсящей съ грузомъ 100 пуд., при слѣд. данныхъ: домкратъ расположенъ на разстоянн 3,2 отъ опорнаго колеса, плечо вѣсъ телеги—2,5, длина рукоятки въ 25 разъ больше шага винта и радиусъ зуба, колеса въ 3 раза больше радиуса шестерни (трени не принимается въ расчетъ).

43. Какимъ числомъ потребно для того, чтобы помощью прива (фиг. 103) поднять грузъ въ 200 пуд., посредствомъ двойной и тройной передачи, при слѣд. данныхъ: длина рукоятки равна 40 с., радиусъ барабана ворота—20 с., шестерни К, Л и Е имѣютъ по 9 зубцовъ, С—11, колеса D и F по 54, а В—66 зубцовъ. Безполезныя сопротивления отнесенныя къ барабану составляютъ 20% груза.

44. Въ маневрѣ (фиг. 109) на валу Е насажены шкивы въ 3 ф. диаметромъ. Полезное сопротивление, отнесенное къ окружности шкива, равно 1,2 пуд. (сколько лошадей должно работать на приводѣ (лагомѣ), если дано: число зубцовъ шестерни Е—7, колеса С—11, шестерни В—9 и колеса А—60 длина ведущей, считая по радиусу—3 саж. тренія поглощаетъ 15%, движущая сила 10 лошадей и число оборотовъ колеса А и шкива.

45. Определить силу, необходимую для передвиженія телеги съ грузомъ въ 200 пуд. по шоссе съ уклономъ  $\frac{1}{50}$  (въ гору). (Сколько потребно лошадей, если средняя сила тяги лошади 3,4 пуд., коэфф. тяги  $k=0,1$  и средній вѣсъ лошади—17 пуд. Найти скорость телеги въ вѣртахъ въ часъ.

## ГЛАВА V.

Гидростатика. <sup>1)</sup>

Характеристическія свойства жидкостей. — Задача гидростатики, гипотеза совершенной жидкости — Основныя начала гидростатики — Принципы Паскаля — Законъ гидростатическаго давления. — Давленіе атмосферы. Деленіе на горизонтальное дѣл. — Давленіе на плоскія стѣнки. Центръ давленія — Сообщающіяся сосуды — Равенствѣе погруженныхъ тѣлъ законъ Архимеда — Равенствѣе плавующихъ тѣлъ. — Гидравлическій прессъ — Задатки.

**111 Характеристическія свойства жидкостей.** Отличительное свойство каждой жидкости состоитъ въ легкой подвижности ея частицъ. Жидкости раздѣляются на *капельныя* и *газообразныя*. Между частицами первыхъ существуютъ еще нѣкоторыя, хотя и весьма малые, сибленіе влѣдствіе чего капельныя жидкости занимаютъ вслѣдъ опредѣленный объемъ, дѣйствіемъ только внутреннѣхъ силъ. По той же причинѣ частицы жидкости оказываютъ нѣкоторое сопротивленіе всякому усилю, стремящемуся оторвать ихъ. Газообразныя жидкости характеризуются отсутствіемъ сибленія между ихъ частицами. Онѣ стремятся постоянно удалиться другъ отъ друга и могутъ удерживаться въ данномъ мѣстѣ и занять опредѣленный объемъ только дѣйствіемъ вѣншихъ силъ. И капельныя и газообразныя жидкости принадлежатъ къ числу *нрррр* тѣлъ, т. е. сжимаемыхъ при дѣйствіи вѣншихъ силъ, онѣ возстановляютъ свой объемъ по прекращеніи ихъ дѣйствія. Но величины сжатія, при одномъ и томъ же давленіи весьма различны въ различныхъ жидкихъ тѣлахъ. Капельныя жидкости уменьшаются въ объемѣ вообще чрезвычайно мало, а потому и болѣе или менѣе *нррр* <sup>2)</sup> Газы и пары напротивъ, сжимаются весьма

<sup>1)</sup> Древнѣйшія изслѣдованія въ области механики жидкихъ тѣлъ, относящіяся къ случаю равновѣсія (гидростатикѣ), принадлежатъ сырымъ тому геометру *Архимеду* (287 — 212 до Р. X.). Онъ открылъ законы плавучести погруженныхъ тѣлъ, которые до него не оставались единственными вѣншими въ гидростатикѣ. Въ 1586 г. нидерл. матем. *Стевинъ* те тѣлокобысилъ, на основаніи началъ Архимеда, такъ и изъ *гидростатическаго аксиомы* (§ 119), но я вывелъ формулы для давленія жидкостей на днѣ и стѣнки сосудовъ. Прочныя же начала гидростатикѣ, какъ извѣстѣ, изложилъ въ знаменитомъ *Fr. математикомъ Блонзи Паскалемъ* (1623 — 1662), открывшимъ основныя аксіомы гидростатики (1653 г., *Traité de l'équilibre des Liquides*, на вѣнхъ подъ названіемъ *принципы Паскаля* (§ 114). По вѣнхъ развитіемъ своимъ гидростатика обладала труды Гюйгенза, Пюстена, Клеръ, Эйлера, Лагранжа, Лапласа, Пуассона и др.

<sup>2)</sup> По опыту *Дж. Стоуѣ* воды, имѣющей поперечное сѣченіе въ 1 кв. дюймъ сжимается отъ давленія груза въ 1627 фунт., равнаго атмосферному, на 0,00006 своего объема.

значительно, но по прекращеніи дѣйствія сжимающей силы тотчасъ распрямится. По этой причинѣ ихъ называютъ также *упругими жидкостями*. Газъ, заключенный въ сосудъ, производитъ на стѣнки его давленіе, которое является какъ результатъ ударовъ колеблющихся частицъ о стѣнки. Ясно, что чѣмъ больше плотность газа, т. е. чѣмъ больше частицъ его находится въ данномъ объемѣ, тѣмъ больше давленіе, оказываемое газомъ на стѣнки сосуда. Это давленіе наз. *тискомъ газовъ* (или паровъ).

### 112. Задача гидростатики. Гипотеза совершенной жидкости.

*Гидростатика* или *статики* жидкихъ тѣлъ разсматриваетъ условія равновѣсія жидкостей. Эти условія зависятъ не только отъ приложенныхъ силъ, но и отъ физическихъ свойствъ жидкихъ тѣлъ. Главная задача гидростатики состоитъ въ рѣшеніи слѣдующаго вопроса: *по даннымъ силамъ, действующимъ на жидкость, находящуюся въ равновѣсіи, определить, какъ распределится давленіе въ массѣ жидкости.*

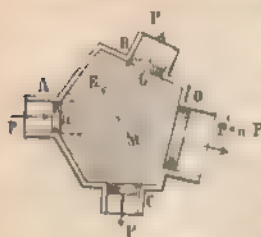
Для простоты разсужденія будемъ разсматривать жидкость, какъ совокупность частицъ, обладающихъ *идеальнымъ* и способныхъ перемѣщаться одна относительно другой и по стѣнкамъ сосуда *безъ тренія*. Сверхъ того мы будемъ считать жидкости *сжимаемыми*. Такія воображаемыя жидкости наз. *идеальными* или *совершенными* жидкостями. По этой гипотезѣ совершенныя жидкости способны представить сопротивленіе только сжимающимъ силамъ, но не способны представить никакого сопротивленія силамъ растягивающимъ или сдвигающимъ. Существованію же въ природѣ *идеальной жидкости* удовлетворяютъ лишь условно, только въ нѣкоторой степени, т. е. они представляютъ сопротивленіе и растягивающимъ и сдвигающимъ силамъ, хотя и весьма малое. Слѣдовательно ошибка, проистекающая отъ принятія гипотезы идеальной жидкости, вообще не чувствительна, но крайней мѣрѣ когда разсматриваютъ жидкость въ состояніи покоя. По лѣ жидкости находящиеся въ движеніи эта гипотеза не можетъ имѣть мѣста, но ошибка можетъ выйти значительная. Тогда по своимъ свойствамъ очень близко подходитъ къ совершенной жидкости.

**113. Основное начало гидростатики** Гипотеза совершенной жидкости приводитъ къ слѣдующему основному принципу гидростатики: *если жидкое тѣло находится въ равновѣсіи, то выходящія силы, приложенныя къ частямъ поверхности, его ограничивающей, направлены по внутреннимъ нормальнымъ къ этой поверхности.* Въ самомъ дѣлѣ, всякая сила, направленная не по нормали, можетъ быть разложена на двѣ одну направленную по нормали и другую по касательной къ поверхности. Эта послѣдняя сила непременно выведетъ часть изъ положенія равновѣсія, заставляя ее скользить по поверхности, чему жидкость, по характеристиче-

скому свойству, не представляет препятствий. Сила направленная по внешней нормали, также выведет частицу из положения равновесия, такъ какъ и растягивающимъ силамъ жидкость не представляетъ сопротивления (следовательно, для равновесія жидкости силы, на нее действующія, должны быть направлены по внутреннимъ нормальнымъ къ поверхности, ограничивающей жидкость, ибо только этимъ путемъ, какъ сжимающимъ, жидкость можетъ оказывать достаточное сопротивление, могущее съ ними уравновѣситься).

**114 Принципъ Паскаля** Основаніемъ при изученіи явленій происходящихъ при равновѣсїи жидкостей, служитъ слѣдующій принципъ *жидкость, заключенная въ какомъ-либо сосудѣ и подверженная соизвншему давленію, передаетъ его по всемъ направленіямъ съ равной силой.*

Этотъ принципъ, извѣстный подъ именемъ *начала равнаго давления*, былъ высказанъ впервые фр-зч Паскалемъ. Возьмемъ сосудъ ABCD (фиг. 115) горизонтальный разрывъ, наполненный жидкостью и соединенный цилиндрическими трубками A, B, C, D, въ которыхъ плотно движутся поршни. Пусть площади F поршней A, B и C будутъ равны между собою, а площадь F' поршня D въ нѣсколько разъ больше первыхъ. Произведемъ на поршни A давленіе P. Вслѣдствіе удобности частицы жидкости, это давленіе передается на прочіе поршни. Чтобы удержать ихъ въ равновѣсїи необходимо, какъ оказывается приложить къ поршнямъ B и C силу, равную P, а къ поршню D силу P', равную nP (для простоты разсужденій, при этомъ не принимается въ соображеніе давленіе на поршень, происходящее отъ вѣса жидкости).



Фиг. 115.

Следовательно, *давленіе, передаваемое жидкостью различнымъ частямъ стннокъ сосуда, пропорціонально ихъ площадямъ, т. е.:*

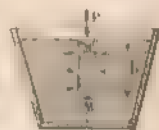
$$\frac{P}{F} = \frac{P'}{F'} = p = \text{Const}$$

Это постоянное отношеніе  $p$  наз. *давленіемъ на единицу площади*, и такъ, *давленіе на единицу площади, произвожащее отъ вѣсннхъ стннокъ сила, передается жидкостью по всемъ направленіямъ одинаково*, другими словами *въ мѣстѣ жидкости, находящейся въ равновѣсїи, давленіе на единицу площади одинаково во всѣхъ точкахъ жидкости*. Вслѣдствіе этого свойства, жидкости предст-вляю-тъ превосходное средство для передачи равной, но меньшей жидкости, какъ помощью неравноплечнаго рычага, можно малой силой уравновѣсить большой грузъ. Подобное примѣненіе жидкостей встрѣчается въ гидравлическихъ прессахъ (§ 125).



**115. Законъ гидростатическаго давленія.** На основаніи принципа Паскаля можемъ сказать, что если на единицу свободной поверхности <sup>1)</sup> жидкости, находящейся въ равновѣсіи, произойдетъ давленіе  $p$ , то оно передается по всемъ направленіямъ въ массѣ жидкости. Дѣйствительное давленіе на единицу площади въ различныхъ точкахъ жидкости будетъ больше  $p$ , вследствие существованія давленія, происходящаго отъ вѣса вышележащихъ слоевъ жидкости. Полное давленіе, происходящее отъ внешней силы и вѣса самой жидкости, носитъ названіе *гидростатическаго давленія*. Это давленіе въ различныхъ точкахъ жидкости имѣетъ неодинаковую величину, оно измѣняется отъ одной точки къ другой, въ зависимости отъ глубины погруженія подъ свободную поверхность. Законъ этой зависимости наз. *закономъ гидростатическаго давленія*.

Пусть мы имѣемъ сосудъ (фиг. 116), наполненный жидкостью, на единицу свободной поверхности которой производится давленіе  $p$ . Вообразимъ, внутри жидкости точку  $M$ , лежащую на глубинѣ  $h$  подъ свободною поверхностью. Выслѣдимъ въ массѣ жидкости вертикальный цилиндръ  $MM'$ , площадь основанія котораго назовемъ буквою  $f$ , и пообразимъ, что часть жидкости, заключенная въ этомъ цилиндрѣ, превращена въ твердое состояніе, равновѣсіе отъ этого нисколько не нарушится. На цилиндръ дѣйствуютъ слѣдующія силы: 1) давленіе  $p'$  на верхнее основаніе, 2) вѣсъ цилиндра, равный  $\Delta fh$ , гдѣ  $\Delta$  есть вѣсъ кубич. ед. жидкости, 3) давленіе сжимающей жидкости на каждый элементъ боковой поверхности, нормальныя къ поверхности цилиндра, слѣд., все горизонтальныя, 4) вертикальное давленіе  $p''f$  жидкости, направленное вверхъ на нижнее основаніе. Такъ какъ цилиндръ находится въ равновѣсіи, то сумма проекцій всѣхъ силъ на какое либо направленіе, напр. на вертикаль, должна быть равна нулю, т. е.  $p'f - \Delta fh - p''f = 0$ , откуда:



Фиг. 116.

$$p' = p + \Delta h. \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

т. е. *давленіе на единицу площади въ какой либо точкѣ жидкости равно давленію на нѣ, свободной поверхности, сложившемуся съ вѣ-*

*съ свободною поверхностью* жидкости надъ частью ея и поверхности, не соприкасающейся со стѣнками сосуда. Если жидкость, заключенная въ сосудѣ, находится въ равнѣ вѣсѣ и дѣйствительнымъ дѣйствіемъ силы тяжести, то ея свободная поверхность представляетъ *горизонтальную плоскость*, потому что только въ этомъ случаѣ поверхность жидкости будетъ нормальна ко всѣмъ тѣмъ къ ней направленнымъ внешнимъ силамъ. На томъ же основаніи можемъ сказать, что *поверхность моря или моря сгруппировать сферич.* центръ которой лежитъ въ центрѣ земли (если не принимать въ соображеніе неравномерности силъ тяжести дѣйствующихъ вѣдъ, притяженіе луны и солнца).

сомъ столба жидкости, высоты которой равна глубинѣ погруженія точки, а основаніе—единица.

Если внешнее давленіе  $p = 0$ , то ур. (23) принимается видъ

$$p' = \Delta h. \quad (26)$$

Изъ обобщ. уравненій видно, что если плотность жидкости постоянна, то гидростатическое давленіе въ различныхъ ея точкахъ зависитъ только отъ глубины погруженія отъ нѣкой свободной поверхности: для всѣхъ точекъ лежащихъ на равной глубинѣ, оно одинаково. Въ эти точки образуютъ такъ наз. поверхность равнаго давленія или поверхность уровня. Гидростатическое давленіе измѣняется отъ одной поверхности уровня къ другой.

**116. Пиезометрическая высота.** Изъ урavn (24) находимъ  $h = \frac{p'}{\Delta}$ , т. е. высота столба жидкости, основаніе котораго равно

кв. единицѣ и который произвонитъ на ед. площади давленіе  $p'$ , равно отношенію этого давленія къ вѣсу куб. ед. жидкости. Эта высота наз. пиезометрическою высотой или высотой, измѣряющей давленіе, а также пиезометр. Въ практикѣ весьма часто представляютъ давленіе какой либо жидкости пиезометрическою высотой.

**117. Давленіе атмосферы.** Атмосферный воздухъ, вѣдѣние своего вѣса производить давленіе на земную поверхность и на всѣ тѣла, на немъ находящіяся. Давленіе это уравнивается въ барометрѣ, или сбалансированномъ состояніи атмосферы, въ мѣстахъ, сделанныхъ на уровнѣ основнаго столба ртути въ 760 мм (пиезометрическая высота  $h = 0.76$  м.). Следовательно, атмосферное давленіе на какую-либо площадь равно вѣсу ртутнаго столба, основаніе котораго равно этой площади, а высота 0.76 м., или, такъ какъ ртуть въ 13.597 разъ тяжелѣе воды, то давленіе воздуха равно вѣсу водянаго столба, высота котораго равна  $0.76 \times 13.597 = 10.334$  м. По кубическій метръ воды вѣситъ 1000 кг., поэтому атмосферное давленіе  $p$  на кв. метръ равно 10334 кг. Въ механикѣ атмосферное давленіе принимается за единицу давленія жидкихъ тѣлъ. Въ подобномъ смыслѣ употребляютъ выраженіе: давленіе воды, пара или газа въ 1, 2, 3... атмосферы, когда желаютъ обозначить давленіе жидкости въ 1, 2, 3... килограмма на кв. сант., или, что все равно въ 16.27, 32.54... фунта на кв. дюймъ. Если напр., говорятъ давленіе пара въ котлѣ равно 5 атмосферамъ, то это значитъ, что паръ давитъ на каждый кв. сант. стѣнокъ съ усилиемъ въ 5 возгор., или на каждый кв. дюймъ съ усилиемъ въ 81.35 фунтовъ.

**118. Давленіе на горизонтальное дно.** Частицы жидкости, непосредственно прилегающія къ горизонтальному дну, образуютъ поверхность уровня стѣд. гидростатическое давленіе во всѣхъ точкахъ она будетъ одинаково и по предыдущему выразится формулою:

$$p' = p + \Delta h,$$

гдѣ  $p$  есть внешнее давленіе на единицу свободной поверхности, и  $h$  — высоты точки или пиезометр. Полное же давленіе на дно, площадь котораго равно  $F$ , будетъ:

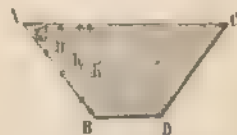
$$P = pF + \Delta Fh \quad (27)$$

т. е. давленіе на горизонтальное дно равно вѣсу столба жидкости находящагося надъ нимъ, площадь дна, а высотой — глубину жидкости, сложенному съ атмосфернымъ давленіемъ, приложившимся на дно.

119. Изъ формулы (27) видно, что давленіе на дно не зависитъ отъ формы сосуда, а только отъ напора и вертикальной площади дна. Если эта площадь и напоръ въ трехъ сосудахъ, представленныхъ на фиг. 117, будутъ одинаковы, то и давленіе на дно въ каждомъ изъ нихъ будетъ одно и то же, хотя въ первомъ будетъ по вѣсу больше жидкости, чѣмъ во второмъ, а во второмъ больше, чѣмъ въ третьемъ. Этотъ выводъ кажется почти именемъ *парадокса*, такъ какъ съ перваго взгляда кажется, что онъ противорѣчитъ истинѣ, ибо выливая наши сосуды, мы получимъ разные вѣсы. Но это кажущееся противорѣчіе уничтожается глѣмъ соображеніемъ, что чашка вѣсовъ получаетъ давленіе не только отъ дна сосуда, къ ней прикасающагося, но и отъ стѣнокъ, неразрывно связанныхъ съ дномъ. Въ первомъ же сосудѣ расширяемся къверху, давленія на стѣнки, будучи разложены на вертикальную и горизонтальную составляющія, составятъ цѣлый рядъ вертикальныхъ внизъ идущихъ силъ, который передастся чашкѣ вѣсовъ, влечетъ съ давленіемъ на дно, поэтому давленіе на чашку вѣсовъ будетъ больше давленія на дно: оно будетъ равно вѣсу жидкости сложенному съ вѣсомъ сосуда. Въ *третьемъ* сосудѣ давленія на стѣнки составятъ также цѣлый рядъ вертикальныхъ составляющихъ, но направленныхъ вверхъ, стѣны, стремясь къ приподнять сосудъ, почему давленіе на чашку вѣсовъ будетъ меньше давленія на дно, оно будетъ равно вѣсу жидкости *внѣ* сосуда. Наконецъ, во второмъ сосудѣ давленія на стѣнки будутъ параллельны шу и, слѣд., не будутъ передаваться на чашку вѣсовъ, поэтому вѣсъ жидкости и давленіе на дно между собою равны.



Фиг. 117.



Фиг. 118.

120. Давленіе на плоскія стѣнки. Такъ какъ главная нагрузка для различныхъ элементовъ площади наклонной стѣнки различная, то предыдущій законъ давленія (§ 118) не можетъ быть непосредственно примененъ къ этому случаю. Для вывода его вообразимъ стѣнку АВ (фиг. 118) раздѣленною на элементарныя площадки  $f_1, f_2, f_3$  и назовемъ буквами  $h_1, h_2, h_3$  соответствующія имъ напора,  $p$  вѣншнее давленіе на ея свобод. поверхности и  $p_1, p_2, p_3$  давленія на ея площади соответствующія элементамъ  $f_1, f_2, f_3$ . Тогда нормальныя давленія на эти элементы будутъ соответственно

$$\begin{aligned} p_1 f_1 &= p f_1 + \Delta f_1 h_1, \\ p_2 f_2 &= p f_2 + \Delta f_2 h_2, \end{aligned}$$

Полное давленіе на стѣнку АВ, какъ равнодѣйствующая системы приложенныхъ силъ, выразится суммою элементарныхъ давленій

$$P = p \Sigma f + \Delta (f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots).$$

Но выражение, стоящее въ скобкахъ, представляетъ сумму моментовъ элементовъ площади  $f_1, f_2, \dots$  относительно горизонта жидкости и равно  $FH$ , гдѣ  $F$  есть площадь стѣнки и  $H$  — расстояние отъ центра тяжести отъ горизонта; а  $\Sigma f = F$ ; поэтому искомое давление на наклонную стѣнку будетъ:

$$P = pF + \Delta FH. \dots (28)$$

т. е. давление на наклонную стѣнку равно весу столба воды, имѣющаго основаниемъ площадь стѣнки, а высотой — расстояние центра тяжести стѣнки отъ горизонта, сложенному съ внешнимъ давлением, приходящимся на стѣнку.

Выводъ послѣдней формулы не зависитъ отъ угла наклона, а потому она справедлива и для наклоннаго дна. Предыдущій законъ (§ 118) представляетъ слѣдовательно частный случай только что доказаннаго.

**Примѣчаніе.** Точка приложения давления жидкости на стѣнку называе-  
мъ *центромъ давления*. Ролью какъ и того центра въ различныхъ частныхъ случаяхъ имѣть большое практическое значеніе и представляетъ приложение теоремы параллельныхъ силъ, подобно вопросу о нахожденіи центра тяжести, но, какъ мы видѣли выше, полное давление на стѣнку есть равно дѣйствующая системы силъ, перпендикулярныхъ къ той стѣнкѣ, слѣд., центръ давления есть центръ параллельныхъ силъ одинаковаго направленія. Если стѣнка *вертикальна* т. е. представляетъ дно сосуда, то центръ давления совпадаетъ съ центромъ тяжести стѣнки, ибо давленія въ каждой точкѣ дна равны между собою, слѣд., центръ давленія будетъ центромъ равныхъ параллельныхъ иль одинаковаго направленія, то будетъ очевидно центръ тяжести дна. *Въ случаѣ наклонной стѣнки центръ тяжести будетъ лежать выше и тяжести.* Для стѣнители — если бы давленія на стѣнку было распределено равномерно, то центръ давленія совпалъ бы съ центромъ тяжести. На самомъ же дѣлѣ давленія въ точкахъ лежащихъ ниже ц. т. подъ сею свободно илверхности больше давленія въ точкахъ лежащихъ выше ц. тяжести слѣд., точка приложения равнодѣйствующей будетъ necessarily лежать ниже ц. тяжести.

**121. Сообщающіеся сосуды.** Положимъ, что имѣемъ два сообщающіеся сосуда (фиг. 119), заключающе въ себѣ двѣ разно-



Фиг. 119.

родности несмѣшивающіяся жидкости, которая при равновѣсіи расположится по своему удѣльному весу, легчайшая на верхъ, плотнѣйшая — внизу. Пусть въ первомъ одеть  $\Delta$ , а второй  $\Delta'$ . Поверхность раздѣла или будетъ горизонтальною плоскостію. Для равновѣсія, давленія на единицу площади раздѣла

съ той и другой стороны должны быть равны между собою. Поэтому, называя основною атмосферное давленіе на ея свободныхъ поверхностяхъ  $AB$  и  $ab$ , передаваемое безъ измѣненія плоскостію раздѣла или будными  $h$  и  $h'$  высоты жидкости надъ плоскостію раздѣла, будемъ имѣть  $p + \Delta h = p + \Delta' h'$ , откуда

$$\frac{h}{h'} = \frac{\Delta'}{\Delta}.$$

и о высоты разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах обратнопропорциональны высотам их куб. единиц, или, что равно, их плотностям.

Если вь сосуда налита одна и та же жидкость, то  $\Delta = \Delta'$ , стѣд  $h = h'$ , т. е. вь сообщающихся сосудах жидкость стоит на одинаковой высотѣ.

*Примечание* На этихъ свойствахъ живано устройство инструмента, служащаго для пивелирования, и извѣстнаго подъ названіемъ *воднаго уровня*, а также устройство *барометра*, прибора, служащаго для измѣренія атмосфернаго давленія, въ этомъ приборѣ атмосферный тѣло уравнивается съ столбикомъ какой либо капельной жидкости, обыкновенно ртути. Выведенными выше законами объясняется происхождение *капучи*, *штыковъ артезианскихъ колодезей*, *фонтановъ* и т. п.

## 122. Равновѣсіе погруженныхъ тѣлъ Законъ Архимеда

Вообразимъ внутри жидкости, находящейся въ равновѣсіи, часть АВ произвольной формы (фиг. 120), и предположимъ, что эта часть перешла въ твердое состояние, не измѣнивъ своей плотности, равновѣсіе отъ этого не нарушится.

Кромѣ вѣса  $Q$ , приложеннаго въ центрѣ тяжести  $C$ , на эту часть дѣйствуютъ еще давленія окружающей жидкости. Такъ какъ разсматриваемая часть жидкости находится въ равновѣсіи, то эти давленія, очевидно, имѣютъ равнодѣйствующую  $P$ , равную и противоположную ся вѣсу  $Q$ .

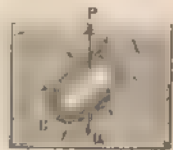
Положимъ теперь, что часть АВ жидкости замѣнена твердымъ тѣломъ, въ томъ бы то была плотности (фиг. 121). Давленіе снизу вверхъ, противоположное на него давленіямъ, будетъ тоже, что и прежде, т. е. будетъ равно *вѣсу вытѣсненной жидкости*. Это давленіе будемъ называть *вытѣснющей силой*. Точка приложенія  $C$  вытѣснющей силы совпадаетъ съ центромъ тяжести отема воды, вытѣсненной тѣломъ, это есть *центръ тяжести* (§ 120). Если погруженное тѣло однородно, то центръ тяжести его совпадаетъ съ ц. давленія (фиг. 120), если же нѣтъ, то эти центры не совпадаютъ (фиг. 121).

И такъ, *всякое тѣло, погруженное въ жидкость, вѣдѣтѣе дѣйствія вытѣснющей силы, тѣрѣтъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣсѣ вытѣсненной имъ жидкости*. Этотъ законъ извѣстенъ подѣ именемъ *закона Архимеда*, впервые его нашедшаго.

## 123. При этомъ могутъ быть три случая

1) Если вѣсъ тѣла  $Q$  больше вѣса  $P$  вытѣсненной жидкости, то равнодѣйствующая  $Q - P$ , равная вѣсу тѣла въ жидкости, будетъ направлена внизъ и заставитъ тѣло погружаться въ жидкость.

2) Если  $Q = P$ , то вѣсъ тѣла въ водѣ равенъ нулю, оно не будетъ ни опускаться ни подниматься, а останется въ равновѣсіи во всякомъ мѣстѣ внутри жидкости. Точка  $C$  и  $g$  будутъ лежать



Фиг. 120.



Фиг. 121.



на одной вертикали. Равновѣсіе тѣла можетъ быть трехъ родовъ: *устойчивое, неустойчивое и безразличное*, подобно равновѣсію подвѣшенныхъ тѣлъ. Оно будетъ *устойчивымъ*, если центръ тяжести тѣла лежитъ *выше* центра давленія  $C$ , *неустойчивымъ*, если  $C$  тяжести лежитъ *ниже*  $C$  давленія  $C$ , и *безразличнымъ*, если оба центра совпадаютъ.

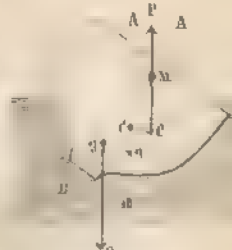
3) Наклонъ. если  $Q < P$ , то равнодѣйствующая  $Q - P$  будетъ отрицательная, т. е. направлена снизу вверхъ. Тѣло будетъ подниматься вверхъ до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ свободной поверхности, или пока не достигнетъ слоевъ имѣющихъ одинаковую плотность съ тѣломъ. Въ первомъ случаѣ часть тѣла поднимется выше свободной поверхности, такое положеніе тѣла наз. *плывущимъ*. Въ обоихъ случаяхъ равновѣсіе тѣла установится, когда вѣсъ вытѣсненной жидкости будетъ равенъ его вѣсу. Примеръ этому представляютъ кѣ тѣла, поднимающіяся отвѣсно къ воздуху: цѣпъ, облака, газы, воздушные шары.

Закономъ Архимеда объясняются многія явленія. Такъ, въ водѣ мы можемъ поднимать такіе грузы, какихъ не въ состояніи поднять на сушѣ. Рыбы плавутъ въ брѣзговой полости такъ наз. плавательный пузырь, наполненный газомъ. Сжимая и расширяя его, онѣ могутъ уменьшать или увеличивать свой объемъ, а потому вытѣснять болѣе или менше воды, и такимъ образомъ поднимаются или опускаются по произволу. Если обложившую шкуру илаз, покрытую всею легкимъ слоемъ жира, опустить отвѣсно на поверхность воды въ сосудѣ, то илазъ не пойдетъ, а будетъ плавать, не смотря на то, что плотности ея болѣе плотности воды. Это происходитъ вѣдствие того, что такая илазъ не смачивается водою; вода въ сосудахъ илазъ принимаетъ форму, подобную той, какую принимаетъ ртуть при прикосновеніи своемъ къ стеклу, она образуетъ впадину въ которой помещается илазъ. Поэтому илазъ вытѣсняетъ объемъ жидкости болѣе своего собственнаго объема, но вѣсъ котораго равенъ ея вѣсу. Такимъ же образомъ объясняется, почему нѣкоторыя насекомыя могутъ впасть въ воду. На законѣ Архимеда основано устройство *ареометровъ*—приборовъ, служащихъ для опредѣленія плотности жидкихъ тѣлъ. Употребленіе ихъ основано на томъ принципѣ, что если стѣно и тоже тѣло погружать въ жидкости, плотности которыхъ различны, то объемы жидкости вытѣснимыя тѣломъ, будутъ обратно пропорциональны ихъ плотностямъ. Законъ Архимеда имѣетъ много другихъ приложений, рассматриваемыхъ въ физикѣ: опредѣленіе объема твердыхъ тѣлъ, имѣющихъ неpravильную форму, опредѣленіе плотности твердыхъ тѣлъ и т. п.

**124. Равновѣсіе плавающихъ тѣлъ.** Какъ мы видѣли, плавающее тѣло подвержено дѣйствію двухъ силъ: собственнаго вѣса и давленія жидкости, приложеннаго въ центрѣ тяжести вытѣсненной тѣломъ объема жидкости. При равновѣсіи должно быть: 1) вѣсъ всего тѣла равенъ вѣсу вытѣсненной жидкости, 2) центръ тяжести и  $C$  давленія лежатъ на одной вертикали. Займемся разсмотрѣніемъ условій при которыхъ равновѣсіе плавающего тѣла будетъ *равновѣснымъ, неустойчивымъ или безразличнымъ*.

Положимъ, что плавающее тѣло есть судно (фиг. 122). Центръ тяжести его  $g$  будетъ лежать въ плоскости симметріи  $AB$  въ той же плоскости и на одной вертикали будетъ лежать центръ давленія  $C$ . Линія  $AB$ , проходящая черезъ центры тяжести и давленія, наз. *осью плаванія*, а сѣченіе тѣла горизонталью воды наз. *плоскостью плаванія*. Положимъ, что судно отклон-

дось несколько от первоначальнаго положенія, такъ что ось плаванія займла положеніе А В. Тогда центръ давления С выйдетъ изъ плоскости симметріи и будетъ находиться въ точкѣ С' на болѣе погруженной части судна. Въ этомъ новомъ положеніи количество вытѣсненной воды <sup>1)</sup> остается тоже самое, что и прежде поэтому давленіе воды сохранитъ прежнюю величину, равную вѣсу Q судна, во направленіи А В. На направленіи давленія жидкости пересѣкается съ осью плаванія А В въ точкѣ М, которая носитъ названіе *метацентра*. Положеніе этой точки относительно п. тѣла не опредѣляетъ условия равновѣсія. На самомъ дѣлѣ, давленіе воды Р и вѣсъ судна Q, какъ видно изъ чертежа, образуютъ пару, которая заставитъ судно возвратиться въ первоначальное положеніе, слѣд., судно будетъ находиться въ устойчивомъ равновѣсіи. Легко видѣти, что для *устойчивости равновѣсія* необходимо, чтобы и *тяжести* *судна* (или *друго* *какого* *любо* *тѣла*) *лежалъ* *ниже* *метацентра*. Это условіе будетъ соблюдено, если *центр тяжести* *лежитъ* *ниже* *и* *отъ центра*. Поэтому для увеличенія устойчивости судовъ употребляютъ балласты, вѣснѣмъ которыхъ и тяжести судна приближается къ его дну. Обратно равновѣсіе плавающего тѣла будетъ *неустойчивымъ*, когда и *тяжести* его *лежитъ* *выше* *метацентра*; наконецъ, тѣло будетъ въ *безразличномъ* равновѣсіи, когда эти точки совпадаютъ.

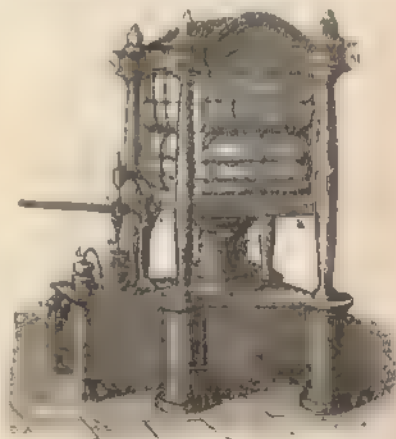


Фиг. 122.

Замѣтимъ, если и *тяжести* тѣла *лежитъ* *выше* *и* *давленіи*, то *метацентр* *можетъ* *быть* *выше* *и* *ниже* *и* *тяжести*, слѣд., равновѣсіе *можетъ* *быть* *устойчивое* *и* *неустойчивое*. Напр., если плавающее тѣло имѣетъ цилиндрическ. форму, то его центр тяжести будетъ всегда выше ц. давленія. Но метацентръ будетъ *ниже* *ц. тяжести*, когда цилиндръ имѣетъ вертикальное положеніе, и *выше* — когда онъ плаваетъ въ горизонтальномъ положеніи. Въ первомъ случаѣ равновѣсіе будетъ *неустойчивое*, во второмъ — *устойчивое*.

### 125 Гидравлическій прессъ.

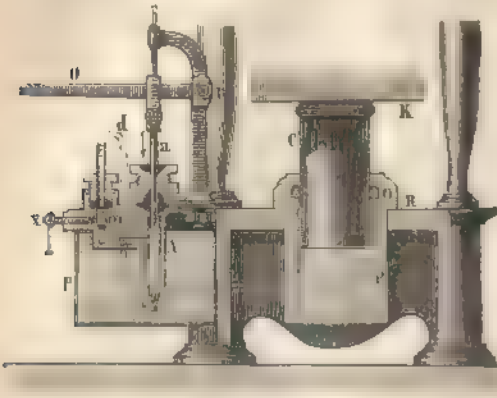
Гидравлическій прессъ состоитъ изъ двухъ сообщающихся цилиндровъ А и В, различныхъ діаметровъ (фиг. 123 и 124), въ которыхъ движутся поршни. Поршень С большого цилиндра (В) наз. *шаромъ* и снабжается доскою К, на которой помѣщаются предметы, назначенные для прессованія. Матый цилиндръ А съ



Фиг. 123

<sup>1)</sup> Вѣсъ вытѣсненной сущности воды наз. *архимедовою* *силою* судна, оно равно вѣсу судна имѣющаго съ нимъ такое же движущее механизмы (паровой машины съ котломъ) и пр. В движущее выраж. — *тя* *силы* *веса* — въ тоннахъ, каждая въ 1000 klg.

поршнем а представляет насос, накачивающий воду из резервуара Р по трубке d в цилиндр В. Поршень насоса приводится въ движение посредством рычага второго рода Ог, качающагося



Фиг. 124

около оси г. При каждомъ размахѣ поршня а часть воды входитъ въ цилиндръ В, причемъ ныряло С медленно поднимается и передаетъ давленіе, постепенновозрастающее, пресуемому предмету, помѣщенному между доскою К и неподвигною доскою MN, прочно укрѣпленною къ вертикальнымъ колоннамъ.

Пусть Р будетъ движущее усиліе, дѣйствующее на рычагъ Ог, L и l — длинное и короткое плечи его, Р' — давленіе, передаваемое поршнемъ насоса, f, F, d и D — площади и диаметры поршней а и С, и, наконецъ, Q — давленіе, передаваемое водою нырялу С. Тогда по теоріи рычага получимъ, не принимая въ расчетъ тренія Р' Р  $\frac{L}{l}$  но по принципу Паскаля  $Q = P' \frac{F}{f} = P' \left[ \frac{D}{d} \right]^2$ , откуда, подставивъ въ мѣсто Р' его величину, получимъ:

$$Q = P \frac{L}{l} \left[ \frac{D}{d} \right]^2 \dots \dots \dots (29)$$

Такимъ образомъ небольшимъ усиліемъ можно произвести огромное давленіе на ныряло С. Изъ числительности же давленіе Q ныряла на пресуемый предметъ меньше вычисленнаго вследствие тренія поршней о стѣнки цилиндра. Можно принять, что на треніи поршней теряется въ 25<sup>0</sup> движущую силу.

Примѣръ. Если  $\frac{L}{l} = 6$ , D = 49, d = 3, P = 45 кг., то  $Q = 45 \cdot 6 \cdot \frac{1600}{9} = 48000$  кг. или (скажи) 57,5 атм. сферъ. Считая же 25% потери движущаго усилія на треніе поршней Q = 36000 кг., или около 28 атмосферъ.

126. Вслѣдствіе огромнаго давленія на ныряло вода стремится проскочить въ отверстіе, сдѣланное въ цилиндрѣ В для прохода ныряла. Для устраненія этого протѣканія въ кольцеобразномъ мѣлкѣ, сдѣланномъ въ верхней углубленной части цилиндра, помещается кожаное кольцо, и нѣтъ на з кожанный воротникъ (фиг. 125) который давленіемъ воды отстоитъ отъ ныряла такъ что пропуска-



Фиг. 125.

чипание дѣлается почти невозможным<sup>1)</sup>. На фиг. 126 представлено въ  $\frac{1}{2}$  нат. вед. расположение кожаного воротника для гидравлическаго пресса въ 120000 кг. полного давления. Здесь *a* и *b* суть деревянные подставки, служащія для установки воротника въ его грядѣ. Не менѣе вниманіе должно быть обращено также на соединеніе водопроводной трубки *d* со стаканомъ *B*. Какъ показано на фиг. 127, между крѣпко припаяннымъ фланцемъ и трубой *A* (мѣдной или желѣзной) и стаканомъ, проложены кожаные кружки *b*, играющіе роль набивки, которая сильно сжимается вторымъ фланцемъ (по движимому). Въ при помощи болтовъ (шпильки) *c*, вынимаемыхъ прямо въ стаканъ. Для выпуска воды изъ пресса, по окончаніи его дѣйствія, служить край *x*. По выпускѣ воды крыло дѣйствию своего веса опускается въ первоначальное положеніе. Для предупрежденія разрыва частей пресса величїе дѣйствіе слишкомъ значительно возростаніи давления воды, прессъ снабжается предохранительнымъ краномъ (§ 217), который открывается когда давление превосходитъ извѣстную предѣль, за которой можетъ послѣдовать разрывъ.



Фиг. 126

Гидравлическій прессъ имѣетъ обширныя примѣненія въ промышленности. Его употребляютъ на суконныхъ фабрикахъ для прессованія суконъ и др. матерій, на маслобойныхъ заводахъ для выжиманія масла изъ сѣмянъ, въ старинномъ производствѣ для отжиманія стеарина, онъ употребляется для прессованія волокнистыхъ и пористыхъ гѣлъ, какъ, напр., хлопчатой бумаги, горфа, сѣна, соломѣ и т. п., съ цѣлю сообщить имъ малый объемъ въ видахъ удобства перевозки. Посредствомъ гидравлическаго пресса испытывается прочность желѣзныхъ цѣпей, приготовляемыхъ для флота, якорей и строительныхъ материаловъ, передъ ихъ употребленіемъ, имъ пользуются также для поднятія огромныхъ тяжестей, для выдавливанія свинцовыхъ грубъ, для насаживанія вагонокъ колесъ на оси и т. п.



Фиг. 217.

<sup>1)</sup> Первая идея машины, въ которой можно было бы увеличивать силу при посредствѣ жидкости, принадлежитъ *Паскалю*, но онъ не могъ предложить изобрѣденіи, представляющему просачиваніемъ воды (безшественіе его идеи подтвердить англ. инж. *Ватсонъ* (1748 = 1827), который придумалъ кожаный воротникъ и даже прессу его вышнее устройство (въ 1796 г.,

## ЗАДАЧИ.

46. Сосуд, наполненный водою, движется по горизонтальному направлению съ постояннымъ ускорениемъ  $w$ . Какую форму имѣетъ свободная поверхность воды?

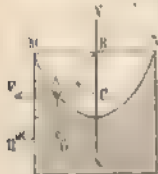
**Рѣшеніе.** Въ началѣ движенія частицы воды, вследствие инерціи, поднимаются къ задней стѣнкѣ сосуда, но затѣмъ, когда вся частица приобрететъ одинаковое ускореніе, установится равновѣсіе въ каждой частицѣ  $A$  (фиг. 128, свободной поверхности можно разсматривать, не принимая во вниманіе давленія атмосферы, какъ неизвѣстную дѣйствующую вѣсъ  $G = mg$  и сопротивленію инерціи, равнаго и прямо противоположнаго движущей силѣ  $P = mw$ . Равнодѣйствующая  $R$  этихъ двухъ силъ должна быть нормальна къ элементу свободной поверхности при точкѣ  $A$ . Называя буквою  $\alpha$  уголъ, составляемый этимъ элементомъ съ горизонталюю, получимъ:  $mw \sin \alpha = mg \cos \alpha$ , откуда  $\tan \alpha = \frac{w}{g}$ . Такъ какъ  $g$  есть величина постоянная, то заключаемъ, что уголъ  $\alpha$  одинаковъ для всѣхъ элементовъ свободной поверхности, которая, слѣд., есть плоскость, наклонная къ горизонту подъ угломъ  $\alpha$ .



Фиг. 128.

47. Сосудъ наполненный водою, вращается около вертикальной оси съ постоянною угловою скоростью  $\omega$ . Определить форму свободной поверхности.

**Рѣшеніе.** На частицу  $A$  (фиг. 129), ординату которой  $y = AC$ , дѣйствуютъ двѣ силы: вѣсъ  $G = mg$  и центробѣжная сила  $F = m\omega^2 y$ . Равнодѣйствующая  $R$  этихъ силъ должна быть нормальна къ свободной поверхности. Продолжимъ вырѣзаніе, не равнодѣйствующей до пересѣченія съ осью вращенія  $AA'$  въ точкѣ  $B$ . Треугольники  $ABO$  и  $ARG$  подобны, по этому:  $BC = y = \frac{g}{\omega^2 y}$ , откуда  $BC = \frac{g}{\omega^2}$ . Отсюда  $BC$  — о.и. заключенный межъ ординатою какойлибо точки кривой и нормальною проведенною чрезъ ту же точку, носитъ геометрическую названіе *поднормальной*. Такъ какъ  $g$  и  $\omega$  суть величины постоянныя, то и  $BC$  для каждой точки кривой  $MAN$  есть также величина постоянная что составляетъ характеристическое свойство параболы. Слѣд. свободная поверхность есть поверхность вращения, которой производящая есть парабола (*параболическая поверхность*).



Фиг. 129.

48. Сосудъ, наполненный жидкостью, вращается около горизонтальной оси съ постоянною угловою скоростью  $\omega$ . Какую форму имѣетъ свободная поверхность?

**Рѣшеніе.** Равнодѣйствующая  $R$  (фиг. 130) центробѣжной силы  $F$  и вѣса  $G$ , дѣйствующихъ на частицу  $A$ , падаетъ вертикаль  $OC$  въ точкѣ  $C$ . Треугольники  $OAC$  и  $ARG$  подобны  $OC/OA = mg/m\omega^2 y$ , откуда  $OC = \frac{g}{\omega^2} = \text{const}$ . Нормали въ всѣхъ точкахъ свободной поверхности пересѣкаются горизонтальную прямую, проведенную чрезъ точку  $C$  слѣд. свободная поверхность есть цилиндрическая поверхность, съ которою проходятъ черезъ  $C$ .

49. По наклонной плоскости движется сосудъ, наполненный водою. Какую форму и положеніе имѣетъ свободная поверхность?

50. Какъ велика давленіе на дно призматическаго сосуда наполненнаго водою, если площадь дна  $= 15$  кв. м и высота воды  $= 3$  м?

51. Определить высоту воды въ сосудѣ, площадь дна котораго  $= 0,12$  кв. м., а давленіе на дно  $= 24$  klg.

52. Определить высоту воды въ сосудѣ, площадь дна котораго  $= 0,12$  кв. м., а давленіе на дно  $= 24$  klg.

53. Определить высоту воды въ сосудѣ, площадь дна котораго  $= 0,12$  кв. м., а давленіе на дно  $= 24$  klg.

54. Определить высоту воды въ сосудѣ, площадь дна котораго  $= 0,12$  кв. м., а давленіе на дно  $= 24$  klg.

55. Определить высоту воды въ сосудѣ, площадь дна котораго  $= 0,12$  кв. м., а давленіе на дно  $= 24$  klg.

56. Определить высоту воды въ сосудѣ, площадь дна котораго  $= 0,12$  кв. м., а давленіе на дно  $= 24$  klg.



52. Какъ велико давленіе на кв. метръ дна судна на глубинѣ 3,2 м.?

53. Одна изъ боковыхъ стѣнокъ сосуда имѣющая форму прямоугольника, шириною 1,25 м. и высотой 2,2 м., наклонена къ горизнту. Сосудъ наполненъ до краевъ водою. Определить давленіе на стѣнку, если высота сосуда = 1,57 м.

54. Сосудъ имѣющій горизонтальное дно, наполненъ капельною жидкостью и приведенъ въ движеніе по вертикальному направленію съ ускореніемъ  $w$ . Какъ велико давленіе на единицу площади дна, если напоръ =  $h$ . Исследовать различные случаи, при этомъ представляющіеся.

55. Въ горизонтальномъ днѣ сосуда сдѣлано отверстіе въ 25 кв. с., которое закрыто подвижною пласомъ воды въ сосудѣ = 1,5 м. Какую силу нужно приложить къ задвижкѣ, чтобы открыть отверстіе, если коэфф тренія  $f = 0,5$ ?

56. Коническій клапанъ имѣетъ слѣдующіе размѣры: діам нижняго основанія  $d = 1''$ , толщина клапана =  $\frac{1}{3}$  углы наклона прѣвзвѣдней  $\gamma = 45^\circ$ . Клапанъ выдерживаетъ давленіе столба воды высотой 24'. Определить высоту столба воды, способнаго открыть клапанъ (не принимая въ расчетъ вѣса клапана).

57. Вертикальный цилиндръ, имѣющій радиусъ  $r$  и длину  $l$ , сообщенъ съ столбомъ воды, уровень которой стоитъ на  $h$  выше середины сосуда. Определить давленіе на верхнее и нижнее основанія цилиндра.

58. Два вертикальных цилиндра имѣюще радиусы  $r$  и  $R$ , наполнены отчасти водою и соединены между собою трубкою, идущею отъ дна одного сосуда къ дну другого. Въ цилиндрахъ заключены поршни, изъ которыхъ первый на  $h$  стоитъ выше втораго и нагнута въ  $P$  кбд. Какой грузъ и до какой глубины въ второй поршень, чтобы удержать ихъ въ равновѣсіи (не принимая въ расчетъ сопротивленій сопротивленій).

59. Шлюзное окошко закрыто дубовымъ щитомъ высотой 5, шириною 4 и толщиной 2'. Горизонтъ воды передъ щитомъ на 3 выше его верхняго края. Какъ велика сила, потребная для поднятія щита, если уд вѣса дуба 1,2 и коэфф тренія  $f = 0,5$  (не принимая и притягъ въ расчетъ давленіе воды на верхнюю и нижнюю грани щита).

60. Поперечное сѣченіе плотины имѣетъ форму трапеціи  $ABCD$ . Какую длину  $xy$  должно имѣть верхнее основаніе  $BC$  трапеціи, чтобы вода не могла соскочить съ плотины, если высота плотины =  $h$ , нижнее основаніе =  $x$  и  $a$  есть гориз прѣсекція наклонной стѣны  $AB$ , принадлежащей къ водѣ,  $b$  — гориз прѣсекція  $CD$ , принадлежащей къ суши, длина плотины =  $l$  и уд вѣса матеріала плотины (земля) равенъ  $\delta$ .

61. Плотное тѣло floats въ жидкости, которой уд вѣс  $\delta_1$ , и  $p_1$  въ другой жидкости, имѣющей уд вѣс  $\delta$ . Определить абсолютный вѣс  $P$ , объемъ  $v$  и уд вѣс  $\delta$  тѣла.

62. Кусокъ мрамора вѣситъ въ воздухѣ 100 klg, а подъ водою 62,5 klg. Найдти его уд вѣс.

63. Требуется приготовить 10 klg, сплава изъ золота и серебра съ уд вѣс 13 (сколько частей въ сплавъ klg золота и серебра, если уд вѣс первого = 19,25, а втораго 10,5).

64. Въ гидравлическомъ прессѣ діам поршня = 1,5 а вѣс поршня въ давомъ 10 пуд. на какой глубинѣ имѣетъ  $d = 1$  откосеніе пласъ рычага  $ab$ . Безразличная сопротивленія составляютъ 30%, движущаго усилія. Какъ велико давленіе вытисна на прѣсцемый предметъ и какъ велико давленіе въ стаканѣ (въ atm) если пласъ качаетъ 1 рабочий съ усиліемъ въ 45 фунт.?

## ГЛАВА VI.

Гидродинамика <sup>1)</sup>.

Задача гидродинамики. — Гипотезы установившагося движения и параллельности струек. Теорема Даниила Бернулли. Гидродинамическое давление. Истечение из отверстия, сделаннаго въ днѣ сосуда. Пыбка чашки Торричелли опытомъ. — Истечение газовъ и паровъ. Теоретическій и действительный расходъ, явление сжатія струи. Коэффициенты скорости, сжатія и расхода. — Истечение изъ округлаго отверстия. — Истечение черезъ цилиндрическую насадку. — Истечение черезъ коническую расходнящую насадку. — Истечение черезъ щитовое окно. — Истечение черезъ водопроводъ. — Гидравлическая воронка сопротивленія. — Средняя скорость потока. Движеніе воды въ трубахъ, — скорость истеченія. Потери напора въ гидравлическихъ сопротивленияхъ. — Общій видъ уравненій. Теоретическая формула средней скорости течения воды въ каналахъ и руслахъ. Эмпирическія формулы средней скорости. — Поплавки и тахеометры. Давленіе жидкости на твердое тѣло. Задача.

**127. Задача гидродинамики.** Гидродинамика или динамика жидкостей тѣмъ разграничиваетъ обстоятельства движенія жидкостей. Задача гидродинамики гораздо сложнее задачи гидростатики и состоитъ не только въ опредѣленіи явленія въ каждой точкѣ жидкости, но также въ опредѣленіи скорости каждой точки по величинѣ и направленію и сверхъ того плотности жидкости въ каждой точкѣ, если жидкость неоднородна. Но ввиду того, что въ большинствѣ случаевъ уравненія движенія жидкостей мы ограничимся разсмотрѣніемъ обстоятельствъ движенія воды въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ, имѣющихъ наиболѣе важное практическое значеніе (къ нимъ относятся 1) истечение воды изъ отверстій, 2) движеніе воды по трубамъ, 3) движеніе воды въ руслахъ и каналахъ).

**128. Гипотезы установившагося движенія и параллельности струекъ.** Въ основаніе вслѣдующихъ гипотезъ и исследований примемъ двѣ слѣдующія гипотезы *установившагося движенія и гипотезу параллельности струекъ*.

Подъ *установившимся движеніемъ* будемъ разумѣть такое движеніе, при которомъ для данной точки пространства имѣютъ постоянныя обстоятельства движенія жидкостіи одинаковы для всѣхъ частицъ, про-

<sup>1)</sup> Начало гидродинамики какъ науки было положено ученикомъ Галилея Торричелли (1608—1647), открытемъ закона истеченія жидкостей изъ отверстій (§ 132), который былъ подтвержденъ въ 1686 г. многочисленными опытами Маринетти (1620—1681), ит. уч. Гюйгенсомъ (въ 1690 г.) и Ньютономъ (въ 1718 г.), который открытъ при этомъ явление *сжатія струи* (§ 136). Болѣе точная формула истеченія была выведена въ 1735 Д. Бернулли (1700—1783) на основѣ закона живыхъ силъ § 132. Дальнѣйшее развитіе гидродинамикъ было дано трудами D'Alembert'a, Эйлера, Лапласа и др. ученыхъ.

ходящихъ черезъ эту точку. Другими словами, при установившемся движении скорость, направление движения и давление въ каждой точке пространства одинаковы для всѣхъ частицъ жидкости, проходящихъ черезъ эту точку. Всѣ онѣ описываютъ одну и ту же траекторію. Совокупность частицъ жидкости, движущихся по общей траекторіи, образуетъ жидкую струйку. Установившееся движение можетъ быть и неравномернымъ, такъ что въ разныхъ точкахъ траекторіи скорости можетъ быть различна, но въ данной точкѣ траекторіи въ послѣдующія частицы приобретаютъ одну и ту же скорость по величинѣ и направлению. Какъ примѣръ установившагося движения, можно указать на движение воды въ рѣкахъ и каналахъ, въ этомъ случаѣ удовлетворяются почти вполне всѣ характеристическія условия установившагося движения.

По второй гипотезѣ будемъ принимать, что всѣ частицы жидкости въ данномъ поперечномъ сѣченіи движутся перпендикулярно къ сѣченію, т. е. по линиямъ, параллельнымъ между собою. Это допущеніе имѣетъ цѣлью сдѣлать удобнымъ примѣненіе закона живыхъ силъ къ движению жидкостей.

Наконецъ, будемъ принимать, что во время движения внутри жидкости не образуется пустотъ, т. е. не происходитъ разрыва струйки (предположеніе непрерывности струйки).

Такимъ образомъ, на основаніи этихъ допущеній, мы должны принять, что *объемъ протекающей по разнымъ времени жидкостной черепъ различныхъ поперечныхъ сѣченій долженъ быть равенъ между собою*. Поэтому, означая буквами  $F$  и  $F'$  два различныхъ сѣченія,  $v$  и  $v'$  среднія скорости частицъ жидкости въ этихъ сѣченіяхъ, будемъ имѣть условие неразрывности струйки:  $Fv = F'v'$ , откуда

$$v = \frac{F'}{F} v'.$$

т. е. *среднія скорости въ различныхъ сѣченіяхъ обратнопропорциональны ихъ площадямъ*.

**129. Теорема Даниэля Вернулли.** Вообразимъ, безконечно тонкую струйку жидкости АВ (фиг. 131), обладающую установившимся движениемъ. Назовемъ буквами  $f, p, v$  и  $h$ —сѣченіе, давленіе на единицу площади, скорость и высоту центра тяжести сѣченія при точкѣ А (надъ произвольной горизонтальной плоскостью MN) и буквами  $f', p', v'$  и  $h'$  соответственныя величины для точки В. Проведенія  $f, f'$  представляютъ такъ наз. *расходъ, т. е. объемъ жидкости, протекающей въ единицу времени черезъ сѣченія А и В*. Этотъ расходъ одинаковъ въ обоихъ сѣченіяхъ, такъ какъ жидкость принимается нами совершенною,



Фиг. 131.

а движение установившимся. Назовемъ этотъ расходъ буквою  $Q$ ; тогда объемъ, протекающій въ теченіе чрезвычайно малаго промежутка времени  $t$ , будетъ равенъ  $Qt$  во всѣхъ сѣченіяхъ струйки АВ. Если скорости различны, то струйка будетъ съ переменнымъ сѣченіемъ и, очевидно, гдѣ скорость  $v$  будетъ велика, тамъ площадь сѣченія  $f$  будетъ мала, и наоборотъ.

Разсмотримъ движение массы жидкости, заключающейся между сѣченіями А и В въ теченіе бесконечно малаго промежутка времени  $t$ , до простетія котораго масса жидкости продвинется въ положеніе АВ, и приложимъ теорему живыхъ силъ для этихъ двухъ положеній. Запунктированная часть жидкости АВ, обшая обоимъ положеніямъ, заключаетъ въ себѣ частицы, обладающія одинаковою массою и скоростями какъ въ началѣ, такъ и въ концѣ времени  $t$ ; слѣд., соответственные живыя силы этого объема въ началѣ и концѣ будутъ между собою равны и сократятся въ разности. Остается опредѣлить разность живыхъ силъ массы ВВ и массы АА. Общій объемъ, занимаемый этими массами, равенъ  $Qt$ . Поэтому, если назовемъ  $\Delta$  вѣсъ единицы объема жидкости, то  $\Delta Qt$  представитъ массу разсматриваемаго объема, а  $\frac{\Delta Qt^2}{2g} (v^2 - v'^2)$  — приращеніе живой силы объема АВ при переходѣ его въ положеніе АВ. Это приращеніе живыхъ силъ надо приравнять работѣ силъ, т. е. вѣса и давленій.

По общему способу, работа вѣса опредѣляется, помножая полный вѣсъ материальной системы на высоту, положительную или отрицательную, на которую опущенъ до вертикали центръ тяжести. Вмѣсто того, чтобы слѣдовать въ данномъ случаѣ этому правилу, замѣтимъ, что положеніе и тяжести системы въ положеніи АВ сколько-нибудь не измѣнится, если мы предположимъ, что объемъ жидкости АВ остался въ покое и что только объемъ АА перешелъ въ положеніе ВВ. Отсюда слѣдуетъ, что вмѣсто того, чтобы помножать вѣсъ всего объема АВ на вертикальное перемѣщеніе его и тяжести, достаточно помножить общій вѣсъ массъ АА и ВВ на разность высотъ ихъ п. тяжести. Такимъ образомъ, искомая работа вѣса будетъ равна  $\Delta Qb \int h - h'$

Работа боковыхъ давленій будетъ равна нулю, ибо эти давленія нормальны къ направленію перемѣщенія ихъ точки приложения. Остается вычислить работу давленій въ источѣ (А) и въ устьѣ (В). Полное давленіе на сѣченіи А равно  $p_1$  и нуль, пройденный его точкою приложения по направленію силы, равенъ АА или  $u_1$ , слѣд., его работа будетъ  $p_1 u_1 - p_1 Qb$ . Подобнымъ же образомъ найдемъ, что работа давленія въ В (отрицательная) будетъ равна  $-p_2 Qb$

Уравненіе живыхъ силъ получитъ видъ

$$\frac{\Delta Q\phi}{2g} (v'^2 - v^2) = \Delta Q\phi(h - h') + pQ\phi - p'Q\phi,$$

или, разделив на  $\Delta Q\phi$ :

$$\frac{v'^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} = h - h' + \frac{p}{\Delta} - \frac{p'}{\Delta},$$

или, наконецъ

$$h + \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g} = h' + \frac{p'}{\Delta} + \frac{v'^2}{2g} = H \dots (30)$$

Въ этомъ ур.  $h$  есть высота некоторой частицы жидкости надъ взятою нами горизонтальною плоскостью:  $\frac{v^2}{2g}$  — высота, соответ-

ствующая скорости  $v$ , и  $\frac{p}{\Delta}$  — пнеометрическая <sup>1)</sup> высота или высота, измеряющая давление (§ 116). наконецъ,  $H$  есть постоянная величина. Такимъ образомъ, для всякаго положенія частицы совершающей движение (на ея три кр. фр.), обладающей установившимся движениемъ, сумма высотъ  $h$ ,  $\frac{p}{\Delta}$  и  $\frac{v^2}{2g}$  есть величина постоянная.

Въ этомъ заключается теорема Л. Бернулли, выражаемая ур. (30). Не трудно видеть, что теорема Бернулли выражаетъ законъ сохранения энергии въ применении къ совершающей движение жидкости, т. е. что во всякой точке жидкости сумма потенциальной и кинетической энергии остается постоянной при увеличении первой уменьшается вторая и обратно.

Если для различныхъ частицъ построить эту сумму, отложивъ ее по перпендикулярамъ къ плоскости  $MN$ , то концы этихъ перпендикуляровъ определятъ горизонтальную плоскость  $KL$ , которая носитъ название *плоскости напора*.

**130** Теорема Бернулли и все заключенія, изъ нея выводимыя, справедливы въ предположеніи совершенной жидкости, т. е. при отсутствіи тренія частицъ какъ между собою, такъ и о стѣнки сосуда. Эта гипотеза ведетъ въ некоторыхъ случаяхъ, какъ увидимъ дальше, къ большимъ ошибкамъ. Такъ, при движеніи жидкости въ длинныхъ трубахъ, гидравлическія вредныя сопротивленія поглощаютъ значительную часть энергии жидкости. Вѣдствие этой потери энергии произойдетъ различіе въ возвышеніи плоскостей напора надъ произвольно избранною горизонтальною плоскостью, соответствующихъ рядамъ послѣдовательныхъ частицъ жидкости. Эти разности носятъ название *потери напора* на гидравлическія сопро-

<sup>1)</sup> Пнеометромъ наз. стеклянная трубка открытая съ обѣихъ концовъ и служащая для опредѣленія движенія въ различныхъ мѣстахъ жидкости находящейся въ движеніи. Удерживая эту трубочку въ вертикальномъ положеніи, погружаютъ одинъ конецъ ея въ жидкость и замѣчаютъ высоту  $h$ , до которой поднимается эта жидкость въ трубочкѣ а зная эту высоту  $h$ , опредѣляютъ пнеомет. давленіе  $p$  по формулѣ  $p = \rho \Delta h$  (§ 116).



твления. Потери напора происходят также, как увидим ниже, вследствие быстрых расширений, сужений или закруглений сосуда, в котором движется жидкость, поэтому теорема Бернулли справедлива только для случая движения в сосуде с постепенно изменяющимся сечением.

**131. Гидродинамическое давление.** Из ур. (30), имеем

$$p' = p + \Delta(h - h') + \frac{\Delta}{2g} (v^2 - v'^2). \quad (31)$$

По  $p + \Delta(h - h')$  есть гидростатическое давление в рассматриваемом сечении, поэтому давление  $p'$  внутри движущейся жидкости, вообще говоря, не равно гидростатическому. Это давление наз.



Фиг. 132.

*гидродинамическим*. Оно больше гидростатического для тех сечений, площадь которых больше площади истока, т. е. для которых  $v' < v$  (§ 128), оно равно гидростатическому для тех сечений, площадь которых равна площади истока ( $v' = v$ ), и наконец оно меньше гидростатического для тех сечений, площадь которых меньше площади истока ( $v' > v$ ). Если  $v'$  очень велико, сравнительно с  $v$ , что будет если сечение  $F'$  (фиг. 132) очень мало по сравнению с сечением  $F$ , то может случиться, что отрицательная величина  $\frac{\Delta}{2g} (v^2 - v'^2)$  численно будет

больше  $p + \Delta h$ ; тогда гидродинамическое давление  $p'$  будет *отрицательное*: вода не давит вовсе на ствол сосуда, напротив, струя имеет стремление еще более сжаться. Если в таком месте сосуда сделать отверстие, то вода не будет вытекать из него, воздух же будет всасываться в сосуд. Если приставить к отверстию трубу, вертикальное колено которой погружено в сосуд с водою, то вода поднимется на высоту, соответствующую отрицательному гидродинамическому давлению.

## II. ИСТЕЧЕНИЕ ИЗ ОТВЕРСТИЙ

### 132. Истечение из отверстия, сделанного в дне сосуда.

Положим, что имеем сосуд ABCD (фиг. 133), наполненный ка-



Фиг. 133

пельною жидкостью, в дне которого сделано отверстие  $ab$ . Определим скорость истечения жидкости из отверстия. При этом предположим, что движение жидкости установившееся так, что обстоятельства истечения не изменяются со временем, для чего необходимо, чтобы уровень жидкости в сосуде был неизменным, т. е. чтобы в сосуде притекало столько же жидкости, сколько из него вытекает.

Пусть  $F$  и  $f$  будут площади сечений  $AB$  и  $ab$ ;  $p$ , и  $p_0$  — давление атмосферы на сд. свободной поверхности и давление от среды, в которую вытекает жидкость  $v_0$  и  $v$  — скорость понижения частицы на свободной поверхности и скорость истечения, наконец пусть  $h$  будет глубина погружения ц. тяжести отверстия под свободною поверхностью или напоръ. Тогда, по теоремѣ Бернулли, получимъ, принявъ за основную плоскость  $MN$  (фиг. 130) горизонтъ  $AB$  (фиг. 132):

$$h + \frac{p_0}{\Delta} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g} \dots\dots (a)$$

По  $Fv_0 = fv$ , ибо объемы, протекающіе въ равныя времена черезъ различныя сечения сосуда, равны между собою, поэтому:

$$h + \frac{p_0}{\Delta} + \left(\frac{f}{F}\right)^2 \frac{v^2}{2g} = \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g},$$

откуда:

$$v = \sqrt{2g \left[ h + \frac{p_0 - p}{\Delta} \right] \left[ 1 - \left( \frac{f}{F} \right)^2 \right]} \dots\dots (32)$$

Эта формула носитъ названіе *формулы Д. Бернулли*, который первый ее вывелъ.

Въ частномъ случаѣ, когда площадь  $f$  отверстия весьма мала въ сравненіи съ площадью  $F$  свободной поверхности, формула (32) можетъ быть представлена въ видѣ:

$$v = \sqrt{2g \left[ h + \frac{p_0 - p}{\Delta} \right]} \dots\dots (33)$$

Если при томъ давленіе  $p$  въ отверстіи и давленіе  $p_0$  на свободной поверхности будутъ одинаковы (напр., когда струя жидкости вытекаетъ въ атмосферу), то

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (34)$$

т. е. въ этомъ случаѣ *скорости истеченія жидкости равны скорости, приобретаемой тѣломъ при свободномъ паденіи съ высоты, равной напору*.

Постѣдняя формула была найдена въ 1643 г итальянскимъ ученымъ *Торричелли*, равно формулы Бернулли, изъ наблюденій надъ водою, то которой занимается вода въ фонтанѣхъ.

**133. Истеченіе черезъ затопленное отверстіе** Если нижняя часть сосуда, изъ котораго вытекаетъ жидкость погружена въ резервуаръ, затопленный такою же жидкостью, на некоторую глубину  $h$  тогда его скоростью истеченія то для давленія  $p$  получимъ  $p = p_0 + \Delta h'$  гдѣ  $p_0$  есть давленіе для обоихъ резервуаровъ таковыя

на ед. свободной поверхности. Подобный случай истечения наз. *истечением через затопленное отверстие*. Для него получим

$$v = \sqrt{2g(h - h')} \dots \dots \dots (35)$$

**134. Проверка закона Торричелли опытом.** Въ справедливости закона Торричелли можно убедиться посредством следующего опыта. Положим, что имеем сосуд ABC (фиг. 134), наполненный водою до уровня АВ и снабженный боковой трубкою C, въ которой сделано отверстие, обращенное вверх. Если открыть отверстие, то струя воды поднимется почти до горизонта АВ, а это доказываетъ, что частицы воды обладают въ моментъ выхода изъ отверстия скоростью, соответствующею высотѣ h, и которая, какъ известно, выражается формулою:  $v = \sqrt{2gh}$ . На опытѣ струя не поднимается до полной высоты h, вследствие различныхъ сопротивленій, встречаемыхъ



Фиг. 134

на пути водою трения частицъ ее о стѣнки сосуда и трубки, соударенія частицъ, сопротивленія воздуха и т. п.

**135. Истечение газовъ и паровъ.** Выведенныя выше формулы, относящіяся къ истечению каплярныхъ жидкостей, справедливы и для газовъ, если только внутреннее давленіе мало отличается отъ внешнего (на  $\frac{1}{10}$  до  $\frac{1}{15}$ ), ибо только въ этомъ случаѣ, принимая плотность газа или пара постоянною, можно допустить, что черезъ всѣ сѣченія проходятъ равные объемы упругой жидкости. Въ практикѣ почти всегда площадь отверстия весьма мала по сравнению съ площадью сѣченія резервуара, изъ котораго истекаетъ газъ, поэтому мы можемъ применять для газовъ формулу (33). Пренебрегая высотой h, которая весьма мала въ сравненіи съ  $\frac{p_0}{\Delta}$ , ибо плотность газовъ или паровъ сравнительно весьма мала, и слѣд. высота  $\frac{p_0}{\Delta}$  столба этого газа способнаго своимъ вѣсомъ произвести давленіе  $p_0$ , очень велика, будемъ имѣть:

$$v = \sqrt{2g \frac{p_0}{\Delta}} \dots \dots \dots (36)$$

Эта формула, предложенная *Бернулли*, была подтверждена опытами *Жиара* и *Д'Обюссона*.

**136. Теоретическій и дѣйствительный расходъ.** Явленіе сжатія струи. Одинъ изъ главнѣйшихъ вопросовъ, представляющихъ при истеченіи жидкости изъ отверстій, состоитъ въ опредѣленіи количества жидкости, вытекающей при данномъ напругѣ въ секунду, или такъ наз. *расхода*. Предполагая, что направленіе движенія всѣхъ частицъ въ моментъ прохожденія ихъ черезъ отверстие, перпендикулярно къ его плоскости, должно принять расходъ равнымъ произведенію изъ площади F отверстия на скорость истече-

ния  $\gamma$ . Поэтому, называя расходъ буквою  $Q$  и принимая для выражения скорости формулу Торричелли, можемъ написать:

$$Q = Fv = F \sqrt{2gh} \dots \dots (37)$$

Расходъ, вычисленный по этой формулѣ, наз. *теоретическимъ*. Непосредственное измѣреніе показываетъ, однако что действительный расходъ всегда меньше теоретическаго. Такое несогласіе теории съ опытными данными происходитъ отъ того, что при выводѣ теоретическихъ формулъ не были приняты во вниманіе гидравлическія сопротивленія, и въ особенности потому, что въ основу вычисленій была принята гипотеза параллельности струекъ, между тѣмъ какъ на самомъ дѣлѣ частицы жидкости притекающія къ отверстию, движутся не по нормальнымъ направленіямъ къ плоскости отверстия но по нѣкоторымъ кривымъ (фиг. 133). при этомъ, вѣдствие соударенія между частицами и тренія о стѣнки сосуда, теоретическая скорость истечения нѣсколько уменьшается. Практический коэффициентъ, на который надо помножить теоретическую скорость истечения, чтобы получить действительную скорость, наз. *коэффициентомъ скорости*, который мы будемъ обозначать буквою  $\varphi$ . Такимъ образомъ, истинная скорость  $v'$  соответствующая напору  $h$ , будетъ:  $v' = \varphi \sqrt{2gh}$ . Вѣдствие непараллельности струекъ происходитъ особое явление замѣченное въ первый разъ ин. уч. Полни и наз. *сжатіемъ струи*. Сущность его состоитъ въ томъ, что струя по выходѣ изъ отверстия дѣлается суживающею, такъ что на нѣкоторомъ разстояніи отъ него площадь поперечнаго сѣченія струи достаточъ наименьшей величины, и только черезъ это сѣченіе, наз. *сжатымъ сѣченіемъ струи*, всѣ частицы протекаютъ, сохраняя къ нему нормальное направленіе. Такимъ образомъ, если площадь отверстия будетъ  $F$ , площадь сжатого сѣченія  $F'$ , то  $F' = \alpha F$ , гдѣ  $\alpha$  есть такъ наз. *коэффициентъ сжатія струи*.

Действительный расходъ  $Q'$ , равный произведенію площади  $F'$  сжатой струи на действительную скорость  $v'$ , будетъ равенъ

$$Q' = F' v' = \alpha \varphi F \sqrt{2gh} = \mu Q \dots \dots (38)$$

гдѣ  $\mu = \alpha \varphi$  есть такъ наз. *коэффициентъ расхода*.

**137. Численные величины коэффициентовъ скорости, сжатія и расхода.** Опыты Барроу, Миссепитти, Эйхвальда и др. показали, что *коэфф. скорости*  $\varphi$  зависитъ исключительно отъ того, въ тонкой или толстой стѣнкѣ сдѣлано отверстіе.

Въ случаѣ отверстія, сдѣланнаго въ тонкой стѣнкѣ (толщина стѣнки не превосходитъ 5—6 сант.), наибольшее сжатіе струи происходитъ на разстояніи  $e$  отъ отверстия, равномъ половинѣ его диаметра  $d$  (фиг. 133), диаметръ же  $\delta$  сжатой струи составляетъ 0,8 диаметра отверстия, следовательно

$$\alpha = \frac{F}{F} = (0,8)^2 = 0,64$$

По опытам же *Полени*, сделанным еще въ 1715 г., можно принять для коэфф. расхода:

$$\mu = 0,62,$$

число, согласное съ позднѣйшими опытами. По этимъ даннымъ коэфф. скорости:

$$\varphi = \frac{\alpha}{\mu} = 0,97.$$

Слѣдовательно, въ случаѣ отверстія въ тонкой стѣнкѣ формула  $v = \sqrt{2gh}$  даетъ результаты, отличающіеся отъ истинныхъ только на 3%, формула же:  $Q = \mu \sqrt{2gh}$  даетъ расходъ, отличающійся отъ дѣйствительнаго на 3%. Такимъ образомъ, погрѣшность въ этой послѣдней происходитъ почти исключительно отъ существованія сжатія.

Если отверстие сдѣлано въ толстой стѣнкѣ, или если къ нему прицѣплена цилиндрическая или призматическая трубка (фиг. 135), то въ этомъ случаѣ жидкость при входѣ въ трубку такъ сжимается, но затѣмъ (если длина трубки не менѣе 1,5 діаметра) струя снова пристаётъ къ стѣнкамъ и вытекаетъ полнымъ отверстиемъ, не подвергаясь вторичному сжатию. При этомъ  $\alpha = 1$ , по коэфф. расхода  $\mu = 0,815$ ; слѣд., уменьшеніе расхода происходитъ исключительно вследствие уменьшенія скорости, коэфф. которой  $\varphi = 0,815$ . Такая значительная потеря скорости можетъ быть объяснена тѣмъ, что *воздухъ* заключенный въ сжатомъ сеченіи *MN*, частью



Фиг. 135.

уносится жидкостью и разрѣжается, причемъ выделение его уменьшается. Вслѣдствіе этого наружное давленіе атмосферы задерживаетъ движеніе струи, заставляя жидкость заполнять всю трубку, причемъ и происходитъ уменьшеніе скорости.

Коэффициенты сжатія  $\alpha$  и расхода  $\mu$  зависятъ отъ многихъ обстоятельствъ, изъ которыхъ наибольшее значеніе имѣетъ уголъ, на который приклоняется уклоняющійся отъ своего первоначальнаго направленія, чтобы попасть въ отверстіе, а также то обстоятельство, происходитъ-ли полное или неполное сжатіе.

Чѣмъ болѣе уклоняются частицы жидкости въ своемъ движеніи отъ первоначальнаго направленія, тѣмъ болѣе сжатіе и тѣмъ менѣе расходъ. Наибольшее уклоненіе имѣетъ мѣсто въ случаѣ приклоненія трубки, входящей въ нить сосуда (фиг. 136), такъ какъ нѣкоторыя частицы должны описывать уголъ  $180^\circ$ , чтобы попасть въ отверстіе. Этому случаю соответствуетъ наибольшее сжатіе и наименьшій расходъ коэфф. котораго, по опытамъ гг.



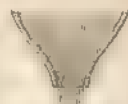
Фиг. 136.



уч *Бидона*, проведеннымъ въ 1826 -27 г., среднимъ числомъ равное  $\mu=0,58$ . Наименьшему сжатию соответствуетъ уголъ  $0^0$  (случай наружной добавочной трубки, фиг. 135). При углѣ отклоненія въ  $90^0$  происходитъ среднее сжатіе. Если этотъ уголъ острый, то сжатіе меньше среднего, если тупой, то больше среднего.

Если отверстие съ одной или нѣсколькихъ сторонъ ограничено другими стѣнками, идущими по направленію струи, или когда одна изъ сторонъ отверстия составляетъ продолженіе сосуда, такъ, что частицы движутся параллельно этимъ стѣнкамъ, то сжатіе происходитъ только съ тѣхъ сторонъ струи, которыя не прилегаютъ къ стѣнкамъ сосуда. Такой случай носитъ названіе *неполнаго сжатія*. Тамъ показали опыты, *неполное сжатіе сопровождается всею различіемъ расхода на величину, пропорциональную отношенію периметра (п) отверстія, по которому не происходитъ сжатія, къ полному его периметру*, именно  $\mu' = \mu \left( 1 + 0,152 \frac{1}{n} \right)$ .

Если добавочная трубка имѣетъ форму, близкую подходящую къ той какую имѣетъ сжатая струя, выходящая изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ (фиг. 137), то коэффициентъ расхода  $\mu$  равенъ въ 0,815, а 0,98, поэтому необходимо, для увеличенія расхода, округлять внутренній край отверстія, сдѣланныхъ въ толстой стѣнкѣ.



Фиг. 137.

*Примечаніе.* При истеченіи газовъ происходитъ также сжатіе струи, но коэфф. расхода въ случаѣ отверстія въ тонкой стѣнкѣ  $\mu=0,65$ , а въ случаѣ короткой цилиндрической трубочки  $\mu=0,9$ .

**138 Истечение изъ отверстія, сдѣланнаго въ боковой стѣнкѣ сосуда.** Хотя при истеченіи жидкости изъ отверстія, сдѣланнаго въ боковой стѣнкѣ сосуда, частицы жидкости, находясь на различныхъ глубинахъ, имѣютъ неодинаковыя скорости, однако бы въ подавляющей численности можно, если вслѣдствіе различія отверстія, какую бы форму оно ни имѣло, не вѣдая, сравнительно съ глубиной погруженія  $h$  его и тяжести подъ свободною поверхностью, то можно для опредѣленія расхода пользоваться формулою

$$Q = \mu F \sqrt{2gh},$$

т. е. принимать, что всѣ частицы движутся со среднею скоростью, равную скорости струйки, протекающей черезъ ц. тяжести отверстия.

**139. Истечение черезъ цилиндрическую насадку** (фиг. 138). Если боковое отверстие, сдѣланное въ тонкой стѣнкѣ, снабжено цилиндрической насадкою, то истечение можетъ происходить двоякимъ образомъ.

Если длина трубки не болѣе какъ въ  $1\frac{1}{2}$  раза превосходитъ диаметръ ея, то струя не будетъ совершенно касаться стѣнокъ

трубки, какъ бы ея совѣтъ не было. Но если длина насадки по крайней мѣрѣ въ 3 раза больше діаметра, то при входѣ въ насадку струя претерпѣтъ сжатіе, но затѣмъ струя снова пристаётъ къ стѣнкамъ и вытекаетъ полнымъ отверстіемъ. Расходъ въ этомъ случаѣ опредѣлится (§ 137) по формулѣ  $Q = 0.815 \Gamma \sqrt{2gh}$ , между тѣмъ, если бы не было насадки, то формула расхода была бы  $Q = 0.62 \Gamma \sqrt{2gh}$ , откуда видно, что *цилиндрическая насадка увеличиваетъ расходъ*.



Фиг. 138.

Какъ было уже сказано выше (§ 137) сжатіе струи въ сѣченіи В сопровождается разрываніемъ воздуха въ этомъ мѣстѣ. Этотъ замѣчательный фактъ былъ подтвержденъ впервые въ 1799 г. опытами ит. уч. *Вентури*, который дѣлать въ стѣнкѣ трубки въ сжатомъ мѣстѣ отверстіе и соединилъ съ нимъ изометрическую трубочку (§ 129), нижній конецъ которой погружалъ въ особый резервуаръ съ водою. Вслѣдствіе пониженія давления въ сжатомъ сѣченіи вода всасывалась въ изометръ на высоту, равную  $\frac{3}{4} AB$ .

**140 Истеченіе черезъ коническую расходящуюся насадку** (фиг. 139). При истеченіи черезъ коническую расходящуюся насадку происходитъ сжатіе струи и разрываніе воздуха въ сжатомъ сѣченіи, какъ и при истеченіи черезъ цилиндрическую насадку, а вслѣдствіе уменьшенія давления происходитъ *увеличеніе скорости истеченія черезъ сжатое сѣченіе, а также и расхода*.



Фиг. 139.

Какъ показали опыты *Вентури* (1798), *Эйхельсгейна* (1801) и проф. горл. инст. *И. Тиме* (1876), расходъ и степень разрыванія увеличиваются съ увеличеніемъ отношенія  $\frac{D}{d}$  — діаметра широкаго основанія трубки къ діаметру отверстія и и

съ *уменьшеніемъ напора H*, но до извѣстнаго предѣла, при которомъ еще струя заполнитъ совершенно насадку, что будетъ (при истеченіи въ воздухъ) если уголъ конусности  $< 7^\circ$ .

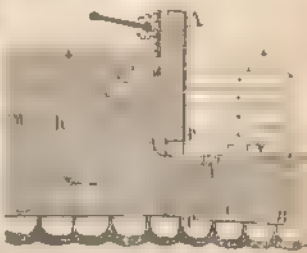
При опытахъ *Эйхельсгейна* съ конической насадкою оказалось, что, при истеченіи въ воздухъ расходъ въ 1.5 раза больше, нежели безъ конической насадки черезъ то же отверстіе въ стѣнкѣ, а при опытахъ проф. *И. Тиме* съ конической насадкою, *напоромъ* *на* *воду* расходъ оказался въ 3 раза больше.

Коническая насадка получила въ послѣднее время большое практическое значеніе. Всабывающимъ дѣйствіемъ конической наса-

докъ пользуются для разрёженія воздуха въ сосудахъ (*водоструйный пневматический насос Кертинга, эжекторы*), для подъема жидкостей (*струйчатый насос Населя, инжекторы*).

**141. Истечение через щитовое окно.** Ко многимъ гидравлическимъ колесамъ вода подводится обыкновенно помощью горизонтальнаго или слегка наклоннаго русла CD (фиг. 140), дно котораго составляетъ продолжение dna резервуара M. Изъ резервуара вода проходитъ черезъ отверстие BA, назыв. *окномъ*, сделанное въ перегородкѣ (плотинѣ) AB. Подвижный шток E служитъ для регулярованія притока воды.

Существованіе направляющаго русла фактъ въ размѣриваніи слѣдуетъ анализировать со случаемъ истечения черезъ затопленное отверстие (§ 133). Поэтому для каждой частицы воды мы можемъ приме-



Фиг. 140.

нить формулу:  $v = \sqrt{2g(h - h')}$ . Но разность  $h - h'$  въ данномъ случаѣ есть величина постоянная, равная H — расстоянію отъ верхняго уровня до нижняго края штокa слѣд. всѣ частицы воды, выходя въ отверстіи, движутся съ одинаковою скоростью  $v = \sqrt{2gH}$ , или

$$v = 0,97 \sqrt{2gH} \dots \dots \dots (39)$$

гдѣ 0,97 есть коэффициентъ скорости.

Дѣйствительный расходъ опредѣлится изъ формулы,

$$Q = \mu F \sqrt{2gH}.$$

Величина коэфф. расхода  $\mu$ , какъ показали опыты Лебрю и Понселе, произведенные въ 1827 г., измѣняется въ зависимости отъ напора H, высоты окна и угла наклона штокa. При вертикальномъ штокѣ коэфф.  $\mu$  можетъ быть принятъ среднимъ числомъ равнымъ 0,62, а при углѣ наклона штокa въ  $45^\circ$ ,  $\mu = 0,8$ .

**142. Истечение черезъ водосливъ.** Водосливомъ или отверстиемъ AB (фиг. 141) сделанное въ верхней части стѣнки (перегородки) AC. Верхний край стѣнки A носитъ названіе порога. Истечение черезъ водосливъ представляетъ также одинъ изъ употребительныхъ способовъ подвода воды къ гидравлическимъ премникамъ. При вытекании воды черезъ водосливное отверстие, сделанное въ тонкой стѣнкѣ, обнаруживается также явление струи, слѣдствіемъ котораго является пониженіе уровня воды надъ порогомъ. Самыя верхнія струйки воды, въ моментъ прохожденія ихъ надъ



Фиг. 141

порогомъ, находятся подъ напоромъ  $H-h$ , а самая нижняя подъ напоромъ  $H$ . (Средняя скорость частиц можетъ быть принята, какъ показываетъ опытъ, равной скорости струйки, протекающей черезъ центръ тяжести водосливнаго отверстия, высотой  $h$ , а длиной  $l$ , т. е.  $v = \sqrt{2g\left(H - \frac{h}{2}\right)}$ , следовательно,

$$Q = \mu l h \sqrt{2g\left(H - \frac{h}{2}\right)}.$$

Но по опытамъ Бреса отношение  $\frac{h}{H}$  можетъ быть принято равнымъ 0,86; поэтому

$$Q = 0,65 \mu l H \sqrt{2gH}.$$

Принимая же среднее значение коэфф.  $\mu = 0,62$ , получимъ,

$$Q = 0,403 l H \sqrt{2gH} \dots \dots (40)$$

143 Если водостивное отверстие сделано въ толстой стѣнкѣ (фиг. 112), то вода, проходя черезъ это отверстие, выйдетъ какъ бы въ растѣ, причемъ всѣ частицы движутся по прямымъ линіямъ параллельно двѣмъ растѣмъ. Вообразимъ надъ сѣчениемъ АВ стѣнку ВС, состоящую изъ частицъ, истекающихъ черезъ это не изменяясь, но тогда мы будемъ имѣть случай истечения черезъ бѣно, сформованное горизонтальнымъ русломъ (§ 141). Какъ извѣстно, въ этомъ случаѣ



Фиг. 112.

скорость  $v$  въ каждой струйкѣ будетъ одинакова, именно та же, что и у самой верхней струйки, т. е.  $v = \sqrt{2g(H-h)}$  или  $v = 0,97 \sqrt{2g(H-h)}$ , а расходъ

$$Q = \mu l h \sqrt{2g(H-h)}.$$

Для практическаго примѣненія этой формулы необходимо знать кромѣ коэфф. расхода  $\mu$  еще и отношение  $\frac{h}{H}$ . Наблюденіе показываетъ, что это отношеніе можетъ быть принято равнымъ  $\frac{2}{3}$ . Подставивъ въ последнее равенство вмѣсто  $l$  его величину и принявъ для  $\mu$  значение близкое къ тому, какое соответствуетъ истеченію



Фиг. 113.

черезъ наружную трубу, т. е. близкое къ 0,816, вѣдр., принимая  $\mu = 0,7$ , получимъ

$$Q = 0,309 l H \sqrt{2gH} \dots \dots (41)$$

144. Размѣтривный случай истечения черезъ водосливъ, въ которомъ порогъ лежитъ выше уровня воды въ отводномъ руслѣ наз. *полнымъ водосливомъ*. Если порогъ лежитъ ниже уровня воды въ отводномъ руслѣ (фиг. 113), то водосливъ наз. *неполнымъ*. Испол-

ный водосливъ можно разсматривать какъ состоящий изъ двухъ частей: полного водослива ВС и обыкновеннаго отверстия АВ. Такимъ образомъ, расходъ черезъ неполный водосливъ будетъ равенъ суммѣ расходовъ черезъ эти два отверстия.

## II. ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ ВЪ ТРУБАХЪ.

**145. Гидравлическія вредныя сопротивленія.** До сихъ поръ мы разсматривали только такіе случаи теченія, когда *гидравлическими сопротивленіями можно было пренебречь* безъ чувствительной погрѣшности. При движеніи воды по трубамъ или канатамъ безполезныя сопротивленія обнаруживаютъ чувствительное влияние на обстоятельства движенія воды. Сопротивленія эти происходятъ отъ двухъ причинъ: *трения* (внутренняго и внѣшняго) воды и *ударовъ*, происходящихъ въ мѣстахъ внезапныхъ расширеній, суженій или крутыхъ поворотовъ трубъ и руселъ.

**146 Средняя скорость потока.** Вѣдѣтіе существованія тренія воды о стѣнки трубъ или о дно и берега рѣкъ и каналовъ, а также вѣдѣтіе о треніи и прилипахъ отдѣльныхъ струекъ между собою, скорость различныхъ частей воды въ одномъ и томъ же поперечномъ сѣченіи не одинакова. Частицы воды непосредственно соприкасающіяся со стѣнками трубы или съ двумя русла, наиболѣе замедляются въ своемъ движеніи дѣйствию гидравлическаго тренія о стѣнки и о дно; соприкасающіяся струйки замедляются первыми, дѣйствию тренія и прилипахъ между собою, и движутся уже съ болѣею скоростью и т. д. сопротивление постепенно уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ стѣнокъ и береговъ, такъ что, напр., въ рѣкѣ наибольшую скорость обладаютъ частицы, наиболѣе удаленныя отъ береговъ и отъ дна т. е. лежащія на средней линіи теченія, или, тояще, несколько ниже ея по причинѣ сопротивленія воздуха. Въ дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ вмѣсто дѣйствительнаго движенія, мы будемъ разсматривать *среднее движеніе*, т. е. будемъ предполагать, что скорость во всѣхъ точкахъ поперечнаго сѣченія одинакова, мѣняясь только при переходѣ отъ одного сѣченія къ другому, и при томъ равна той скорости, которую должны бы были имѣть всѣ струйки въ каждомъ изъ этихъ сѣченій для того, чтобы объемъ  $Q$  воды, протекающей въ секунду черезъ сѣченіе, остался тотъ же, что и въ дѣйствительности, когда скорости въ струйкахъ различны, такъ что если называть площадь сѣченія буквою  $F$ , то средняя скорость выразится:

$$v = \frac{Q}{F} \quad (12)$$

**147. Потѣря напора на гидравлическія сопротивленія.** По-



ложимъ, что имѣемъ резервуаръ А (фиг. 144), изъ котораго вода выливается по трубѣ ВС при постоянномъ горизонтѣ. Пусть  $c$  будетъ средняя скорость истечения,  $H$  — полный напоръ,  $A$  — площадь



сѣченія трубы,  $d$  — диаметръ и  $L$  — длина ея. Такъ какъ въ этомъ случаѣ  $p = p_0$ , то если бы не было гидравлическихъ сопротивленій (внутренняго и внѣшняго тренія воды, ударовъ), то изъ ур (33) получили бы для величины скорости  $c$  формулу Торричелли:

$$c = \sqrt{2gH}$$

фиг. 144.

Въ действительности же скорость истечения будетъ менше, ноо часть напора  $H$  (потенциальная энергія воды, соответствующая этой части напора) потеряется на эти гидравлическія сопротивленія.

Высоту  $z_1$ , затрачиваемую на гидравлическое треніе, принимають 1) пропорциональною окружному периметру  $p$ , 2) части периметра, граничающей трубящей поверхностью, 3) пропорционально длине  $L$  трубы, 4) обратно-пропорционально площади сѣченія  $f$  трубы и 5) пропорционально квадрату средней скорости  $c$  движенія воды. Такимъ образомъ:

$$z_1 = k \cdot \frac{pL}{f} c^2 \dots \dots \dots (a)$$

гдѣ коэфф. пропорціональности  $k$  зависитъ отъ физическихъ свойствъ поверхности трубы и отъ рода матеріала изъ котораго она сдѣлана, именно для червячныхъ трубъ онъ больше, нежели для металлическихъ, для старыхъ чугунныхъ трубъ, стѣнки которыхъ покрыты ржавчиною и осадками, онъ гораздо больше, нежели для новыхъ. Для водопроводныхъ трубъ, по опытамъ фр. инж. Дарси, можно принимать, если за  $cd$  длины взять метръ,  $k = 0,000625$ . Такимъ образомъ высота  $z_1$ , затрачиваемая на треніе воды въ чугунной трубѣ выразится (если подставимъ въ формулу (a)

вмѣсто  $f = \frac{\pi d^2}{4}$ ,  $p = \pi d$ ,  $k = 0,000625$  и вставимъ  $Q = \frac{\pi d^2}{4} c$ )

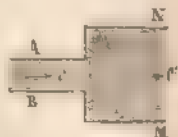
$$z_1 = \frac{LQ^2}{\gamma d^5} \dots \dots \dots (43)$$

гдѣ  $\gamma = (5\pi)^2$  м., т. е. около  $16^2 = 256$  м.

148. Если поперечное сѣченіе трубы внезапно мѣняется, напр., если труба имѣетъ расширеніе или суженіе, то въ этихъ случаяхъ проявятся особыя сопротивленія, поглощающія часть живой силы воды.

Положимъ, напр., что жидкость течетъ по трубѣ АВМХ (фиг. 145), представляющей внезапный переходъ отъ сѣченія  $ab = f$  къ сѣченію МХ =  $F$ . Въ такомъ случаѣ жидкость, переходя изъ узкой

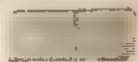
части трубы в широкую, не сейчас заполнить последнюю, но струя будет постепенно вбираться, пока параллельность движения струек не установится в некотором сечении MN. При этом в углах жидкость образует *вихоры*. Если движение установившееся, то через сечения  $A$  и  $F$  в равные времена протекают равные объемы, т. е.  $c_1 = c'_1$ , откуда  $c' = c \frac{f}{F}$ . Так как  $f < F$ , то  $c' < c$ . Таким образом, при переходе в широкий сосуд скорость должна *быстро уменьшиться*, а, следовательно, должно *проявиться сопротивление, тождественное с ударом* и поглощающее часть живой силы жидкости, или, говоря иначе, действие которой поглощается частью высоты напора. Чтобы найти эту высоту, заметим, что так как при переходе от сечения  $ab$  к сечению MN скорость изменяется только по величине из  $c$  в  $c'$ , то разность  $c - c'$  представить скоростью, потерянную на удар, следовательно, высота, соответствующая этой скорости, будет:  $z_2 = \frac{(c - c')^2}{2g}$ . Называя расход  $Q$ , будем иметь,  $Q = fc = Fc'$ , откуда  $c = \frac{Q}{f}$  и  $c' = \frac{Q}{F}$ . Вводя эти величины в последнее ур., найдем



Фиг. 145

$$z_2 = \frac{Q^2}{2g} \left[ \frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right]^2 \dots \dots \dots (11)$$

В случае существования внутри трубы *перегородки* (фиг. 146) с отверстием  $O$  (*клином* или *крыль*), происходит сжатие струи и удар, как при переходе от узкого сечения в широкое. В этом случае скорость прохождения через отверстие будет равна  $\frac{Q}{M}$ , где коэфф. расхода  $\mu$  будет иметь значение, зависящее от расположения отверстия и от того, в тонкой или в толстой стенке сделано это отверстие (§ 137). Следовательно, для высоты  $z_3$ , теряющейся в рассматриваемом случае, будем иметь:



Фиг. 146.

$$z_3 = \frac{Q^2}{2g} \left[ \frac{1}{M} - \frac{1}{F} \right]^2 \dots \dots \dots (15)$$

Если вода переходит из *широкой части трубы в узкую*, то в этом случае происходит *сжатие* в узком отверстии, а затем, как в предыдущем случае, вода от узкого сечения переходит в широкое. Для этого случая надо только в предыдущей формуле принять  $F=f$ .



Фиг. 147.

Если труба имеет *искривление* (или *колено*) (фиг. 147), то в момент прохождения жидкости через него проявляется центробежное стремление, побуждающее частицы



Предполагая, что все частицы движутся съ одинаковою скоростью, равною средней скорости с, можем применить теорему Д. Бернулли (§ 149) къ движению частицы воды, лежащей на свободной поверхности, начиная от точки С до Е, принявъ горизонтальную плоскость, проходящую через Е за плоскость, отъ которой будемъ считать высоты движущейся точки, получимъ

$$\frac{p}{\Delta} + H + \frac{c^2}{2g} = \frac{p}{\Delta} + \frac{c^2}{2g} + z_1, \text{ откуда } z_1 = H$$

т. е. *высота, теряющаяся на трение равна напору H*. Поэтому какъ и для случая движения въ трубѣ, можемъ написать

$$H = k \frac{pL}{f} c^2,$$

гдѣ  $f$  есть площадь живого сѣченія рѣки или канала,  $p$  — мокрый периметръ,  $L$  — длина разсматриваемой части рѣки. Отсюда

$$c = \sqrt{k} \sqrt{\frac{H}{p \cdot L}} \quad (17)$$

гдѣ  $R = \frac{H}{p \cdot L}$  наз. *среднимъ радиусомъ сѣченія*, а  $i = \frac{H}{L}$  — *напоръ на единицу длины*. Эта формула была дана француз. Членъ (17) coeff.  $k_1$  *Эйссельманъ* вывелъ число 51, если за единицу длины принять метръ.

Умноживъ среднюю скорость  $c$  на площадь  $f$ , найдетъ расходъ воды черезъ живое сѣченіе:

$$Q = fc = 51 \sqrt{\frac{f^3}{p}} i \quad (18)$$

Для пользованія формулами (17) и (18), необходимо предварительно проэквализировать поверхность воды на значительномъ протяженіи и вынести ея въ возможно точнѣе величину  $\frac{H}{L} = i$ , а затѣмъ посредствомъ промѣровъ глубины въ различныхъ мѣстахъ живаго сѣченія опредѣлить по формулѣ Симпсона площадь  $f$  и периметръ  $p$ . Для этого надъ свободною поверхностью рѣки протягиваютъ отъ одного берега къ другому веревку, перпендикулярно къ направлению течения (фиг. 118). Затѣмъ прокладываютъ вдоль этой веревки на дѣлѣ и измѣряютъ посредствомъ отвѣса на различныхъ разстояніяхъ, напр. отъ метра къ метру, глубину. Такимъ образомъ, описавъ ось абсциссъ и ординаты ряда точекъ рѣки. Нанесенъ эти данныя въ известномъ масштабѣ на бумагу, соединяютъ концы ординатъ кривою, которая представляетъ контуръ сѣченія. Нанѣривъ площадь этой кривою по способу Симпсона, получаемъ площадь живаго сѣченія  $f$  въ данномъ масштабѣ.

151) Фигура (18) можетъ служить для рѣшенія слѣдующихъ важнѣйшихъ вопросовъ, относящихся къ *среднему каналу*

- 1) По известной *расходѣ воды*  $Q$  и *среднему радиусу сѣченія*  $R$  найти *напоръ*  $H$  и *среднюю скорость*  $c$ .
- 2) По известной *расходѣ воды*  $Q$  и *напору*  $H$  найти *среднюю скорость*  $c$  и *средний радиус сѣченія*  $R$ .

При рѣшеніи послѣднихъ вопросовъ разсматриваютъ *средній каналъ*, образуемый, чтобы придать формулу (18) практическую форму, среднимъ значениемъ  $f$  его и при напоре  $H$ , скорость  $c$  была наибольшая.

шал. Изъ ур. (48) видно, что с будетъ макс. когда  $p \text{ min}$ . Поэтому сѣченію канала должно придавать такую фигуру, чтобы периметръ ея былъ наименьшій, т. е. форму правильного многоугольника или окружности. Въ практикѣ для каналовъ, обѣлаиваемыхъ камнемъ или деревомъ, принимается форма полуквадрата или полукруга; а для каналовъ, не имѣющихъ обѣлки, форма трапеции, величина откосовъ которой опредѣляется свойствами грунта.

*Примѣчаніе.* Что касается скорости воды у дна канала, то она должна быть ип столько мала, чтобы вода не размывала дна и откосовъ (когда нѣтъ деревянной или каменной обѣлки) и вмѣстѣ съ тѣмъ достаточно для того, чтобы вода могла унести теченіемъ заключающіеся въ ней примѣси (глина, песокъ), к которымъ при меньшей скорости осаждались бы на дно каналы. Для чистой воды эта скорость должна быть равна 0,15 м., а для воды съ примѣсью песка отъ 0,30 до 0,6 м.

**152. Эмпирическія формулы средней скорости.** На практикѣ средняя скорость течения опредѣляется обыкновенно по эмпирическимъ формуламъ въ зависимости отъ наибольшей скорости воды на средней линіи свободной поверхности. Изъ этихъ формулъ наиболѣе отвѣчающе действительности результаты дастъ формула *Прони*:

$$c = V \frac{2,372 + V}{3,153 + V} \text{ метр.} \dots (49)$$

гдѣ  $c$  и  $V$  суть средняя и наибольшая скорости теченія. Въ случаяхъ, не требующихъ большой точности, пользуются болѣе простою формулою:

$$c = 0,8 V \dots (50)$$

**153 Приборы, служащіе для опредѣленія наибольшей скорости теченія.**

1. *Поплавки* <sup>1)</sup>. Для опыта выбираютъ часть русла по возможности прямолинейную и съ постояннымъ сѣченіемъ, чтобы можно было считать движеніе равномернымъ. Поплавокъ пускаютъ по срединѣ рѣки или канала гдѣ скорость наибольшая. Передъ началомъ опыта, на обоихъ берегахъ верхняго сѣченія ставятъ по 2 вѣхи и такія же вѣхи ставятъ при нижнемъ сѣченіи. Одинъ наблюдатель замѣчаетъ точно моментъ, въ который поплавокъ проходитъ линію первыхъ вѣхъ, а другой замѣчаетъ моментъ, въ который поплавокъ, приходитъ на линію вторыхъ вѣхъ. Разность часовъ, соотвѣствующихъ этимъ наблюдениямъ, представляетъ время, употребленное поплавкомъ на прохожденіе разстоянія между данными сѣченіями. Раздѣливъ это разстояніе на время, получаютъ искомую скорость теченія. Чтобы показанія поплавка были по возможности ближе къ

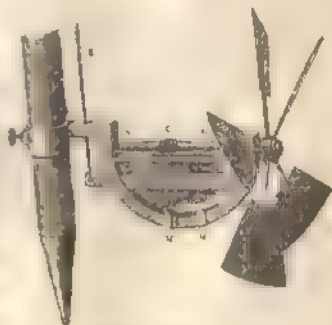
<sup>1)</sup> Поплавки дѣлаются *перелынные* или *металлическіе*. Первые имѣютъ обыкновенно форму диска, а вторые даютъ форму пустого шара, для того чтобы ихъ можно было наполнить водою, что для поплавка употребляютъ пустую бутылку. Чтобы легче было слѣдить за поплавкомъ, его окрашиваютъ въ яркую краску — белую или красную.



испичнымъ. необходимо, чтобы изъ воды выступала какъ можно меньшая часть поплавокъ, такъ какъ самый слабый вѣтеръ можетъ значительно вліять на его движеніе. Поплавокъ не долженъ также погружаться много подъ свободною поверхностью, такъ какъ въ этомъ случаѣ онъ укажетъ не скорость на поверхности, но некоторую среднюю скорость многихъ струекъ потока. Для большей вѣроятности результата повторяютъ такой опытъ съ поплавкомъ нѣсколько разъ, средняя арифметическая изъ этихъ наблюдений представляетъ наибольшую скорость на свободной поверхности.

Поплавки могутъ служить также для опредѣленія скорости воды на *какой-нибудь глубинѣ подъ свободною поверхностью*: для этого къ поплавку, плавающему на поверхности воды, привѣшиваютъ другой поплавокъ при помощи нити или проволоки такой длины, чтобы этотъ поплавокъ находился подъ водою на требуемой глубинѣ. Тогда оба поплавокъ будутъ двигаться со скоростью, среднюю изъ наибольшей скорости  $V$  на поверхности рѣки и скорости  $v$  — некоей, существующей на глубинѣ второго поплавка; слѣд. будетъ имѣть  $c = \frac{V+v}{2}$ , откуда  $v = 2c - V$ .

II. *Тахометръ Вольтмана*. Для болѣе точнаго опредѣленія скорости теченія служатъ особые приборы, извѣстные подъ общимъ названіемъ *тахометровъ*. Лучшій изъ тахометровъ есть такъ наз. *мельница* или *серпика* *Вольтмана*, изобрѣтенная имъ въ 1790 г. Приборъ этотъ состоитъ изъ горизонтальной оси АВ (фиг. 149), снабженной на одномъ изъ концовъ крыльями F.F., наклоненными подъ некоторымъ угломъ къ оси, на подобіе крыльевъ вѣтряныхъ мельницъ. Ось АВ снабжена безконечнымъ винтомъ С, могущимъ сдвигаться съ колесомъ О, установленнымъ въ рамкѣ GH. Въ положеніи, представленномъ на чертежѣ, колесо О не сдвинуто съ винтомъ С и удерживается въ этомъ положеніи пружиною D. При помощи шнура F можно притянуть рамку GH и произвести сдвигеніе колеса съ винтомъ. Колеса О, О' назначены для счета оборотовъ оси АВ, для чего на нихъ дѣлаются дѣленія, соответствующія числамъ на зубцовъ, а на дугѣ AQ, поддерживающей ось крыльевъ, устанавливается указатели Q.Q'. Дуга AQ помощью муфты K, снабженной винтомъ m, можетъ быть прикрѣплена къ деревянному стержню D на требуемомъ разстояніи отъ его нижней оконечности, если по той глубинѣ, на которой требуется опредѣлить скорость потока,



Фиг. 149.

При началѣ опыта нуди дѣлений счетныхъ колесъ устанавли-  
ваютъ противъ указателей (Ф). Погрузивъ приборъ въ воду такъ,  
чтобы ось АВ была направлена по течению, спускаютъ затѣмъ  
какого-то съ винтомъ С. При этомъ вращение винта, производимое  
давленіемъ воды на крылья, будетъ передаваться счетному при-  
бору. По прошествіи известнаго промежутка времени, замѣчаемо-  
по часамъ, опускаютъ шнурокъ Е. причемъ винтъ С разобщается  
съ колесомъ О. Затѣмъ вынимаютъ приборъ изъ воды и опре-  
дѣляютъ по указаннымъ счетнаго механизма число оборотовъ вер-  
тушки за время опыта, раздѣливъ же число оборотовъ на время,  
получаютъ число оборотовъ оси АВ въ единицу времени, напр.,  
въ минуту. Для опредѣленія скорости по числу оборотовъ поль-  
зуются слѣдующею формулою:

$$c = 0,3595 a + \sqrt{a + bn^2} \dots \dots (51)$$

гдѣ а и b суть постоянныя количества зависящія отъ размѣровъ  
вертушки численныя величины ихъ опредѣляются для даннаго  
прибора помощью предварительныхъ опытовъ, погружая его въ  
воду, скорость которой известна.

154. Давленіе жидкости на твердое тѣло. Если тѣло неподвижно, то да-  
вление на него жидкости будетъ очевидно, зависѣть отъ величины *абсолют-*  
ной скорости ея частицъ и можетъ быть выражено тою же формулою, какъ  
и сопротивление жидкости:

$$P = \varphi' \frac{\gamma^2}{2g} F \gamma \dots \dots \dots (52)$$

гдѣ  $\gamma$  есть скорость частицъ жидкости,  $\gamma$  — плотность ея и F — проекція  
тѣла на плоскость перпендикулярную къ направлению движенія.

Если тѣло само движется со скоростью  $c$ , то давленіе P выразится въ  
зависимости отъ *относительной* скорости  $\gamma + c$  смотря по тому, дви-  
жется ли скорость въ одну сторону или направленія скорости противо-  
положны.

$$P = \frac{(\gamma + c)^2}{2g} F \gamma \dots \dots \dots (53)$$

Что касаетсѣ коэфф.  $\varphi'$  то какъ показали опыты Дюбуа и Тиббъ можно  
принять для тѣлоидальной пластинки  $\varphi' = 1,86$ , для куба  $\varphi' = 1,46$  а для паралле-  
леника, длина котораго въ три раза больше стороны основанія,  $\varphi' = 1,34$ .

## ЗАДАЧИ.

65. По слѣдующимъ формуламъ Тейлора, опредѣлить действительную ско-  
рость течения изъ отнѣста,  $\frac{1}{12}$  фута въ тѣло, въ дѣлѣ, что имѣетъ  
 $h = 5,2$  м.

66. Определить скорость и точный моментъ затопленія отъ тѣло дан-  
наго, при дѣлѣ задачи, если  $\frac{1}{12}$  фута имѣетъ  $h = 5,2$  м. (стѣ-  
сїемъ  $= 2,16$  м).

67. Найти слѣдующія величины: а)  $\frac{1}{12}$  фута въ 2 секунды, б)  $\frac{1}{12}$  фута въ 10  
секундъ, в)  $\frac{1}{12}$  фута въ 15 секундъ, г)  $\frac{1}{12}$  фута въ 20 секундъ, д)  $\frac{1}{12}$  фута въ 30 секундъ.



запасовъ работы пользуются для дѣйствія гидравлическихъ приемниковъ, которые большую или меньшую часть его передаютъ въ видѣ *полезной работы* различнымъ исполнительнымъ механизмамъ, для движенія которыхъ приемникъ поставленъ.

Хотя въ рѣкахъ и каналахъ средняя скорость теченія с вообще не велика, но *запасъ работы воды*  $\frac{\Delta Q}{2g}$   $\text{с}^2$  (гдѣ  $\Delta$  есть весь куб. ед. воды и  $Q$  — объемъ воды (расходъ), протекающій въ сек. черезъ живое сѣченіе), можетъ быть значителенъ, если великъ расходъ  $Q$ . На практикѣ невозможно воспользоваться всею этою живою силою, такъ какъ невозможно приемнику придать такие громадные размѣры, чтобы весь объемъ  $Q$  могъ на него дѣйствовать. При обыкновенныхъ размѣрахъ приемниковъ, можно заставить дѣйствовать на нихъ только небольшой объемъ воды, а, следовательно если при этомъ и скорость теченія не велика, то и работа, принимаемая приемникомъ, будетъ незначительна и, вообще говоря, недостаточна для движенія фабрики или завода.

Если приемникъ *дѣйствуетъ потенциальной энергій воды*, собранной въ резервуаръ, расположенный на нѣкоторой высотѣ, то запасъ работы будетъ равенъ работѣ веса воды, при ея переливаніи изъ верхняго резервуара въ нижній. При этомъ переливаніи вода производитъ дѣйствіе на извѣстные органы приемника и производитъ его въ движеніе. Разность уровней въ верхнемъ и нижнемъ резервуарахъ носитъ названіе *напора*. Такимъ образомъ, если *напоръ* расходъ, или объемъ воды, падающей въ секунду изъ верхняго резервуара на приемникъ, будетъ  $QH$ , или, означая буквою  $N$  число паровыхъ лошадей запаса работы, можемъ написать

$$N = \frac{\Delta QH}{75}.$$

**156. Цѣль устройства плотины.** Въ природѣ весьма рѣдко встрѣчаются естественные напоры, достаточные для дѣйствія гидравлическихъ приемниковъ. Обыкновенно приходится прибѣгать къ искусственному образованію напора. Для этого въ руслѣ воды строятъ поперечную *плотину*, дѣйствіемъ которой уровень воды передъ запрудой повышается и такимъ способомъ образуется со стороны притока резервуаръ воды съ поднятымъ уровнемъ, сравнительно съ уровнемъ воды, падающей по другую сторону плотины—въ истокъ. Но легко видѣти, что *плотина не создаетъ работы, какъ это можетъ казаться*. Задерживая движеніе воды, плотина только превращаетъ въ энергію потенциальную кинетическую энергію воды, которая при даннѣйшемъ движеніи воды затратилась бы на преодоленіе гидравлическихъ сопротивленій, слѣд., плотина не создаетъ работы, но сохраняетъ и накапливаетъ ее. Чтобы выяснитъ пользу устройства плотины, рассмотримъ слѣдующій

примѣръ. Пусть средняя скорость теченія рѣки равна 0,98 метра, тогда запасъ работы, какимъ можно воспользоваться для техническихъ цѣлей, будетъ:  $\frac{1000 \text{ Q} \cdot 9,8^2}{2 \cdot 18} = 50 \text{ Q}$ ; между тѣмъ, если посредствомъ плотины образованъ напоръ, напр., въ 1 метра, то запасъ работы, при томъ же расходе, будетъ:  $1000 \text{ Q} \cdot 1 = 1000 \text{ Q}$ , т. е. въ 80 разъ больше.

**157. Водопроводный каналъ.** Обыкновенно гидравлическій приемникъ устанавливаютъ не непосредственно въ рѣкѣ, а на берегу по причинѣ трудности устройства солиднаго фундамента, или желанія приблизить затопленія фабрики въ потоводье, или когда по мѣстнымъ условіямъ фабрика должна быть устроена вдали отъ рѣки), а въ особомъ каналѣ К (фиг. 150). Въ такомъ случаѣ, кромѣ машиннаго дома М для гидравлическаго мотора и фабрики П необходимы слѣдующія гидравлическія сооруженія: 1) плотина или запруда А, устраиваемая поперекъ рѣки въ томъ мѣстѣ, гдѣ беретъ начало каналъ Е, отводящий воду къ мотору, и имѣющая назначеніе образовывать необходимый напоръ, 2) водопроводный каналъ Е, 3) водосточный каналъ С, отводящий отъ работающую воду обратно въ рѣку 4) водопускъ В, снабженный щитовымъ затворомъ С' и служащий для спуска воды изъ канала во время остановокъ мотора или въ случаѣ излишней притока воды въ каналъ Е, 5) веревный водопускъ І, также снабженный щитовымъ затворомъ и служащий для предохраненія канала Е отъ затопленія.

Непосредственно передъ моторомъ устанавливается въ каналѣ Е рѣшотка В, составленная изъ жѣлѣзныхъ листовъ, укрепленных наклонно ребрами по теченію, и служащихъ для задержанія постороннихъ плавающихъ тѣлъ — щепъ, листьевъ, бревенъ и т. п.

**158. Устройство каналовъ, плотинъ и щитовыхъ затворовъ.** Главная часть канала суть дно, стѣны и щитовые затворы и рѣшотка. Дно и стѣны каналовъ делаются земляныя, каменные, кирпичныя, асфальтовые или чугунныя. Полосы состоятъ изъ отдѣльных частей, свинчиваемыхъ болтами. Боковые стѣнки и ровнища каналовъ делаются изъ бревенъ, а дно изъ досокъ. При очень большихъ напорахъ камня обыкновенно вѣтриваются въ турбинахъ, а для мелкихъ устройствъ каналовъ, вода подводится къ мотору чугунною трубою.

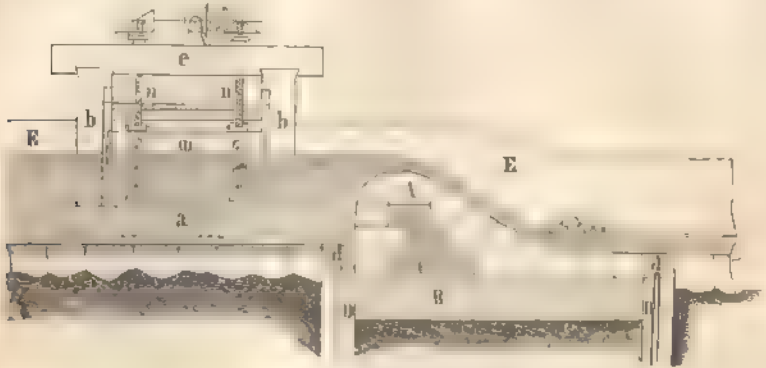
Устройство плотинъ весьма разнообразно. При небольшихъ напорахъ устриваютъ земляныя водосбѣги (фиг. 141) а при большихъ — каменные водосбѣги (фиг. 141, 142 и 151). На фиг. 151 представленъ каменный водосбѣгъ съ бе-



Фиг. 150.

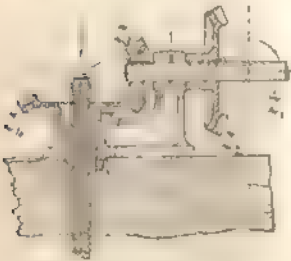


точнымъ основаниемъ В, вбитымъ цѣлю предупредить размывъ подошвы С плотины водою «поверхностною» и грунтовою. Передъ плотиною и позади ея вбиты въ грунтъ шпунтовые рамы В и Д, съ насадками d и d', служащие опорою для уребня А. Береговые стѣнки Е служатъ для предупрежденія разлива воды.



Фиг. 151.

Главныя части шпунтового затвора составляютъ основной брусокъ а, шпунтовый столбъ б, б', стѣнный брусокъ е, и досчатый пята м, который поднимается при помощи двухъ винтовъ n, n' и конической передачи, представленной отдѣльно на фиг. 152.



Фиг. 152.

**159. Подраздѣленіе гидравлическихъ пріемниковъ** Гидравлическіе пріемники могутъ быть раздѣлены, по роду ихъ движенія, на два класса, на пріемники съ круговымъ непрерывнымъ движеніемъ и на пріемники съ прямолінейнымъ качательнымъ шженіемъ. Въ первомъ отношеніи гидравлическія

колеса и турбины; во второмъ — водоструйныя машины.

Существенное отличие есть отъ турбинъ заключается въ томъ, что въ первомъ вѣтви состоитъ изъ колеса, въ второй же самый началъ, въ которомъ вступаетъ въ него а въ второй — въ различныя. Такъ, въ колесахъ вода вступаетъ и выходитъ всегда у ихъ внешней окружности, а въ турбинахъ вода вступаетъ у внутренней окружности, а выходитъ у внешней или обратно, или же вступаетъ у верхней части турбины, а выходитъ въ нижней. Колеса всегда имѣютъ горизонтальную ось, а турбины по большей части вертикальную, но иногда горизонтальную или наклонную.

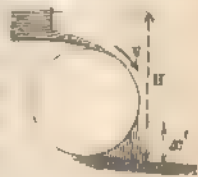
**160. Общее уравненіе передачи работы гидравлическими пріемниками** Если обстоятельства движенія воды, вступающей на колесо и вытекающей изъ него, не измѣняются съ теченіемъ вре-

мени, то движение приемника можно считать *равномерным*, а след., уравнение передачи работы будет иметь вид (§ 6)

$$T_m = T_u + T_r,$$

где  $T_m$  есть запас работы двигателя,  $T$  — часть этой работы двигателя, преобразованная в полезную работу приемника,  $T_r$  — оставшаяся часть энергии двигателя, теряющаяся бесполезно при переходе воды от верхнего резервуара к нижнему.

Назовем буквою  $Q$  объем воды, притекающей в секунду к приемнику, и  $H$  (фиг. 153) полный напор, который представит путь, проходящий водою по вертикальному направлению; тогда запас работы двигателя выразится  $T_m = \Delta QH$ . Полезная же работа  $T_u$  равна работѣ того веса  $P$ , какое нужно приложить к окружности колеса, чтобы поддерживать его равномерное движение, т. е. будет  $T_u = Pv$ , где  $v$  есть скорость на окружности колеса.



Фиг. 153.

Найдем, сперва, выражение энергии  $T_r$ , теряющейся бесполезно. Потери энергии происходят по причинам следующим: 1) *сопротивления на пути воды от двигателя до лопаток колеса* (сжатие и трение о дно и стѣны русла, ведущая воду от щитового отверстия к колесу). Назовем буквою  $x$  высоту, теряющуюся на эти сопротивления, тогда потеря энергии выразится  $\Delta Qx$ . 2) *удары воды о лопатки или о воду*, раньше вошедшую в приемник. Если назовем буквою  $u$  часть скорости воды, теряющуюся на удар во время вступления в приемник, то  $\frac{u^2}{2g}$  представит потерю напора, а  $\frac{\Delta Qu^2}{2g}$  — потерю энергии на удар; 3) *трения воды о лопатки и трения в оси приемника или трения* (в водостовных машинах), *сопротивления воздуха*. Назовем работу, теряющуюся на эти сопротивления, буквою  $T_z$ . 4) *потери живой силы* происходящей вследствие того, что вода выходит из приемника с некоторою скоростью  $w$  и, след., уноситъ съ собою часть энергии, равную  $\frac{\Delta Qw^2}{2g}$ , теряющуюся на удар при впадении воды в нижний резервуар и на гидравлическія сопротивления въ отводном руслѣ. 5) *потери* некоторой части *напора*  $x'$ , происходящей вследствие того, что вода останавливается приемникъ, прежде, нежели достигнетъ нижняго резервуара, но дойдя до постѣяно па высоту  $x'$ , след., часть запаса энергии, равная  $\Delta Qx'$ , представляется бесполезною потерю.

Такимъ образомъ, искомое ур. передачи работы гидравлическимъ приемникомъ, представится въ следующемъ видѣ

$$\Delta QH = Pv + \Delta Qx + \frac{\Delta Qu^2}{2g} + T_z + \frac{\Delta Qw^2}{2g} + \Delta Qx',$$

откуда

$$T_n = P_v + \Delta Q \left[ H - x - \frac{v^2}{2g} - \frac{w'}{2g} - x' \right] - T_\varphi.$$

При выводѣ этого ур. не было принято во вниманіе еще одно обстоятельство, уменьшающее полезную работу, — *безполезная потеря воды черезъ зазоры*, существующіе у некоторыхъ приемниковъ (гидравлическихъ колесъ) между двумя и стѣнами русла, въ которомъ установленъ приемникъ, и лопатками.

**161. Условія наиболѣе выгоднаго дѣйствія гидравлическихъ приемниковъ.** Изслѣдованіе послѣдняго ур. показываетъ, что для наиболѣе выгоднаго дѣйствія гидравлическаго приемника должны быть соблюдены слѣдующія условія:

1)  $x = 0$ : *сжатіе при входѣ воды черезъ щитовое отверстіе должно быть какъ можно меньше*; русло, ведущее воду къ приемнику, какъ можно короче, безъ изгибовъ и суженій или расширеній;

2)  $v = 0$ : *вода должна вступать въ приемникъ безъ удара*, т. е. относительная скорость частицъ воды за мгновеніе до вступленія на лопатку должна быть равна по величинѣ и направленію относительной скорости частицъ воды, находящихся на лопаткѣ;

3)  $w = 0$ : *вода должна выходить изъ приемника со скоростью, сколь возможно меньшею*;

4)  $x' = 0$ : *точка выхода воды изъ приемника должна лежать какъ можно ближе къ уровню нижняго резервуара*;

5) *давленіе въ подпунктикахъ или подпятникахъ должно быть какъ можно меньше*;

6) *количество воды, бесполезно протекающей черезъ зазоры, должно быть какъ можно меньше*;

Въ практикѣ, для различныхъ приемниковъ эти условія могутъ быть удовлетворены въ различной степени. Поэтому величина полезной работы, которая можетъ быть представлена формулою

$$T_n = \mu \Delta Q H \dots (54)$$

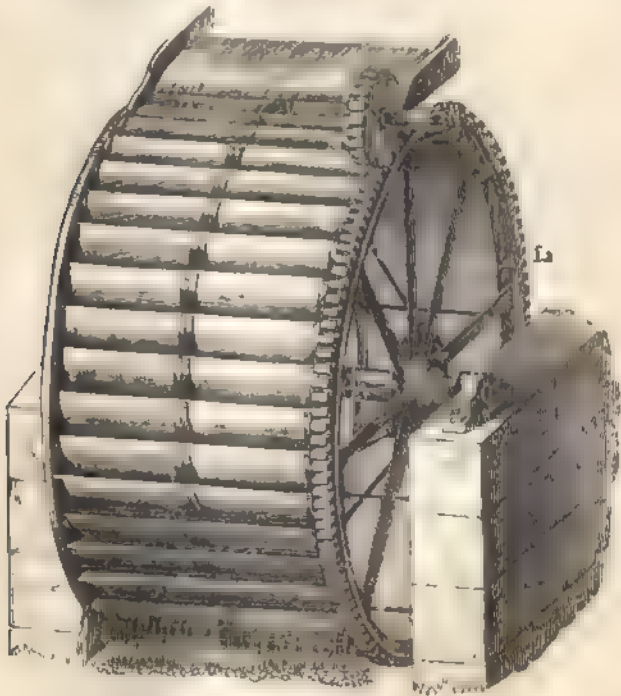
( $\mu$  — коэфф. полезнаго дѣйствія), при томъ же числѣ работы, для различныхъ приемниковъ выходитъ различная. Въ существующихъ гидравлическихъ приемникахъ коэфф. полезнаго дѣйствія  $\mu$  колеблется въ предѣлахъ отъ 0,30 до 0,80.

**162. Подраздѣленіе гидравлическихъ колесъ <sup>1)</sup>.** Существуетъ два главныхъ типа гидравлическихъ колесъ:

<sup>1)</sup> Изобрѣтеніе гидравлическихъ колесъ теряется въ глубокой древности. По свидѣтельству *Сирабона* уже во время *Митридата Великаго* (147 — 64 до Р. Х.) существовала слѣдъ его резаденціи мельница, которая приводилась въ движеніе вѣднымъ колесомъ, а по свидѣтельству знаменитаго въ свое время римск. архитектора *Витрувія* (въ соч. его *De Architectura*), современника *Августа* въ царствованіе этого императора около Рима были въ дѣй-



ченыхъ болтами; 2) *циркульный пустотѣлый валъ* А, установленный въ подшипникахъ С; 3) *циркульныя втулки* или *розетки* В (по одной для каждою обода); 4) *железныя радиальныя ручки* ВЕ, D F... прямоугольнаго (или круглаго) сѣченія скрѣпляющія розетки съ ободами (при помощи болтовъ); 5) *танталовыя стѣны* G, соединяющія правую розетку съ лѣвымъ ободомъ и лѣвую съ правымъ; 6) *периферическія стѣны* В, F..., соединяющія лѣвый ободъ съ правымъ; 7) *железныя кривыя лопатки* приличивныя къ особымъ приливамъ (фиг. 157), которыми снабжены ободы, и наконецъ, 8) *оподубки* или *кожухъ*, т. е. железную внутреннюю обшивку, при-



Фиг. 154.

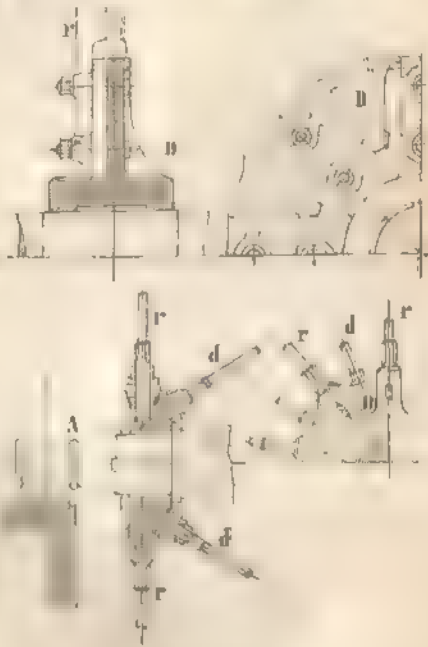
ставляющую цилиндрическій барабанъ, прикрѣпленный изнутри колеса къ ободамъ и имѣющій радиусъ, равный расхвату внутренней окружности колеса. Промежутки между лопатками, ободами и кожухомъ образуютъ сосуды, называемые *котлами*; ободы и лопатки образуютъ боковыя стѣнки, а кожухъ дно. Для полнаго скрѣпленія ободовъ употребляются *стяжные болты*, стягивающіе ободы и лопатки, а для устраненія протѣка лопатокъ послѣднія скрѣпляются между собою *радиальными болтами*. Въ очень широкихъ колесахъ



ставится *третий, средний ободъ*, для котораго на валу закипывается особая розетка съ системою радиальных ручекъ (*система диагональных* (d) и *периферических* (п) ручекъ ставится только въ томъ случаѣ, если *зубчатый венец*  $\lambda$  *привинченъ къ ободу*, какъ на фиг. 154. Назначение ихъ предупредить перекашивание ободьевъ вкручивающимъ дѣйствіемъ давления въ зубцахъ. Если же *венецъ укрѣпленъ къ радиальнымъ ручкамъ*, или вмѣсто венца *посажено на валъ мотори зубчатое колесо*, то скручиваніе ободьевъ съ роетками производится только при помощи радиальныхъ спиць, ибо въ этомъ случаѣ скручиванію будетъ подвергаться не ободъ, а валъ.



Фиг. 155.

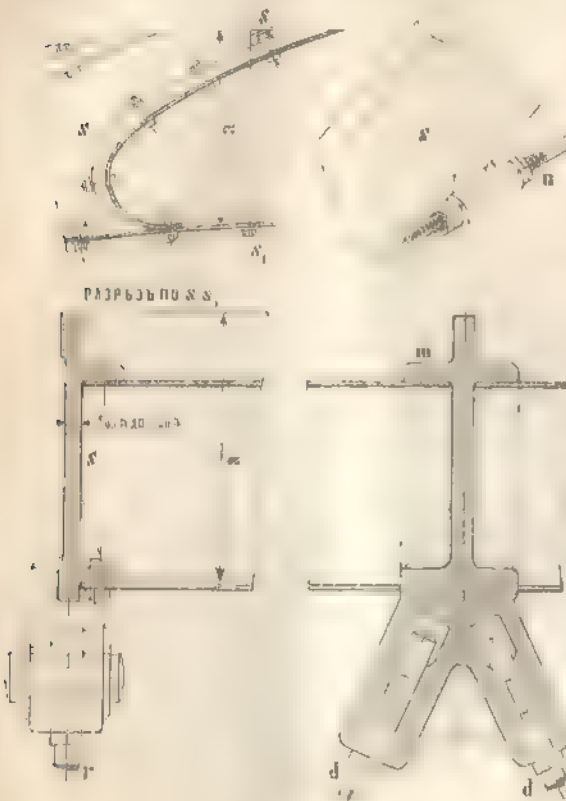


Фиг. 156.

*Водоприводное руло* или *дурь* домыщается выше колеса. Въ передней стѣнкѣ дурь сдѣлана *ворота*, снабженное щитомъ и коушникомъ, съѣзжающимъ желѣзнымъ поводомъ котораго вода пускается на колесо такъ, что попадаетъ во второй или третій ковшъ, считая отъ вертикальнаго вверхъ пущаго радиуса. До вступленія на колесо вода проходитъ нѣкоторый путь по вертикальному направлению, приобретаетъ известную скорость, которую затѣмъ *теряетъ* на *дурь* при вступленіи въ ковши. Оставаясь же въ ковшахъ, *вода дѣйствуетъ* своимъ *весомъ*, понуждая колесо къ движенію, пока изъ него не вылетитъ.

На фиг. 156 представлено детальное устройство *чугунной ро-*

летки (П) съ широкими ручками, заклиненной на железном валу (верхний чертеж), и шириной рейки для железных радиальных (г) и диагональных (д) спиц, заклиненной на ширинном валу.



Фиг. 157

Детальное изображение скрѣпленій лопатокъ съ крайними ободьями в и среднимъ ободомъ т, а также скрѣпленіе спицъ радиальныхъ (г), диагональныхъ (д) и периферическихъ (и) съ ободьями представлено на (фиг. 157).

Въ деревянныхъ колесахъ каждый ободъ составл. изъ двухъ иниц., состоящихъ изъ 8 до 16 косяковъ. Ручки, идущія попарно, параллельно радіусу (фиг. 158) образуютъ въ своемъ пересѣченіи четырехугольн., охватывающій валъ, обтесанный на 4 или на 6 кантовъ. Лопатки вставляются въ пазы, выдолбленные въ ободьяхъ для полного скрѣпленія колеса ободья стягиваются болтами.

**164 Полезная работа верхненаливного колеса.** Полный напоръ П (фиг. 158) въ верхненаливномъ колесѣ можно раздѣлить на слѣдующія четыре части: 1) на часть  $ab = h$  отъ уровня воды въ чарѣ до точки вступленія воды въ колесо; 2) на часть  $bc = h'$  отъ точки вступленія до начала вытекания воды изъ лопатки; 3) на часть  $cd = h''$  до совершеннаго опорожненія лопатки и 4) на часть  $de = h'''$  отъ лопатки до низливаго уровня. Для первой части напора ( $h$ ) дѣйствіе воды заключается въ ударѣ и можно принять, что вода вливается въ колесо по направлению касательной къ наружной

окружности колеса <sup>1)</sup>, тогда назвав бьювою  $c = \sqrt{2gh}$  скорость воды при вступлении ее въ колесо и  $v$  — скорость на наружной окружности колеса, найдемъ скорость, теряющуюся на удар  $c - v$ , и потерю энергии двигателя:  $\frac{\Delta Q}{2g} (c - v)^2$ . Затѣмъ на высотѣ  $h'$  вода

дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ, и такъ какъ здѣсь не происходитъ никакой потери, то часть запаса работы, передаваемая водою колесу, будетъ  $\Delta Q h'$ . На высотѣ  $h''$  вода постепенно уменьшается; часть ее переливается черезъ края ковше; поэтому работа, переданная колесу, будетъ:  $\xi \Delta Q h''$ , гдѣ  $\xi$  есть правильная дробь. Далѣе, часть запаса работы воды, соответствующая высотѣ  $h'''$ , совершенно теряется для дѣйствія колеса, ибо вода вся вылилась раньше. Наконецъ, принявъ, что скорость  $w$ , съ какою вода оставляетъ колесо, равна скорости  $v$  на его окружности (пренебрегая влияніемъ центробѣжной силы), получимъ для полезной работы колеса выраженіе:

$$T_u = \frac{\Delta Q}{2g} c^2 + \Delta Q h' + \xi \Delta Q h'' - \frac{\Delta Q}{2g} (c - v)^2 - \frac{\Delta Q}{2g} v^2 = \\ = \Delta Q \left\{ h' + \xi h'' + \frac{1}{2g} v(c - v) \right\}.$$

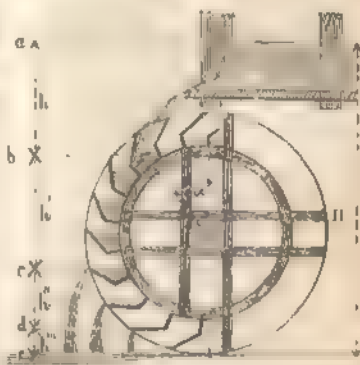
Изъ этого выраженія видно, что при  $v=c$  и при  $v=0$  послѣдній членъ правой части равенъ нулю, слѣд., между этими крайними предѣлами должно быть значеніе скорости, при которомъ полезная работа  $T_u$  будетъ наибольшая. Эта величина скорости колеса и будетъ *наимыонимѣйшею скоростью призматика*, о которой было сказано въ § 7. Она опредѣляется изъ условія, что для  $T_u$  *max.* произведеніе  $v(c - v)$  должно быть также *max.*, что будетъ при  $v = 0,5$  с. т. е. когда скорость на вѣншей окружности колеса будетъ равна половинѣ скорости воды. Подставивъ это значеніе  $v$  въ послѣднее выраженіе, получимъ:

$$T_{u \max} = 0,5 \Delta Q \frac{c^2}{2g} + \Delta Q \left\{ h' + \xi h'' \right\} - \Delta Q \left\{ 0,5h + h' + \xi h'' \right\}, \text{ или,}$$

$$\text{такъ какъ } H = h + h' + h'' + h''',$$

$$T_{u \max} = \Delta Q \left\{ H - 0,5h - (1 - \xi) h'' - h''' \right\}.$$

<sup>1)</sup> Въ дѣйствительности уголъ, образуемый направлениемъ скорости  $c$  съ касательною къ окружности колеса, составляетъ около  $13^\circ$ .



Фиг. 158.

В этой формуле  $(1 - \frac{1}{n}) h'' + h'''$  есть та часть напора, которая теряется вследствие прерывременного выливания воды из ковшеи. Обозначив ее буквою  $z$ , получим

$$T_{\text{max}} = \Delta Q \left\{ H - 0,5 h - z \right\}$$

Легко видеть, что высота  $z$  тем больше, чем больше наливаются ковшеи водою, потому что тем раньше в этом случае начнется нит вытекание воды. Пусть  $a$  будет глубина ковшеи, считаемая по радиусу (а есть ширина обода), а  $L$  ширина колеса (или длина ковшеи), тогда объем, подаваемый колесом за секунду под действием русла будет равен  $aLe$  (не принимая во внимание толщины стенок ковшеи), а так как в этот объем за секунду вливается объем воды  $Q$ , то ковшеи будут наполняться водою тем больше, чем больше будет дробь  $\frac{Q}{aLe} - n$ .

Эта дробь наз. коэффициентом наполнения колеса и заключается в пределах от  $\frac{1}{25}$  до  $\frac{1}{5}$ .

Изчисления и опыты показывают, что высота  $z$ , теряющаяся от прерывременного вытекания воды из ковшеи может быть представлена формулою:  $z = \left( \frac{1}{25} + \frac{n}{1} \right) D$ , или, так как

в верхневаливных колесах  $D$  близко по величине к  $H$ :  $z = \left( \frac{1}{25} + \frac{n}{1} \right) H$ . Напр., если коэфф. наполнения  $n$  равен  $\frac{1}{5}$ , а  $H = 0,12H$ , то  $T_{\text{max}} = 0,85 \Delta Q H$ , т. е. колесо превращается в полезную работу 85%, запаса работы воды. В действительности коэфф. полезной работы колеса изменяется от 0,6 (для напора  $H < 5$  м) до 0,75 (при  $H > 5$  м), следовательно

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{max}} &= 0,65 \Delta Q H \text{ к. м., или } N = \frac{0,65 \Delta Q H}{75} \text{ л. с. (при } H < 5 \text{ м)} \\ T_{\text{max}} &= 0,75 \Delta Q H \text{ к. м., или } N = \frac{0,75 \Delta Q H}{75} \text{ л. с. (при } H > 5 \text{ м).} \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

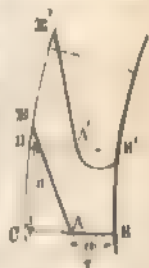
На уменьшение полезной работы колеса, кроме гидравлических сопротивлений при вытекании воды из ковшеи, влияют также напруга колеса, иметъ влияние центробежная сила воды, способствующая раннему выливаю ее из ковшеи.

**165 Главнѣйшіе размеры верхневаливного колеса.** Прежде всего определяють расход  $Q$ , потребный для движения колеса, данной силы  $N$  пар. лощ. при данномъ напорѣ  $H$ , по формулѣ  $Q = \frac{75 N}{0,65 \Delta H} = \frac{N}{0,1155 H}$  (для  $H < 5$  м.), такъ какъ всѣхъ куб. метра воды равно  $\Delta = 1000$  кг. и  $Q = 0,001 \frac{N}{H}$  (для  $H > 5$  м.). Для опредѣленія радиуса колеса предположимъ, что колесо касается уровня воды въ отводномъ руслѣ тогда изъ чертѣжа получимъ:  $H = R + R \cos \alpha = h$ , гдѣ  $\alpha$  есть вертикальный уголъ, соответствующій

ди точек вступления воды в колесо, но какъ уголъ  $\gamma$  вообще весьма малъ, то можно принять  $\cos \gamma = 1$  и  $R = \frac{1}{2} (H - h)$ . Высота  $h$  выбирается въ пределахъ отъ 0,1  $H$  до 0,12  $H$ ; во чаще всего задаютъ скорости  $v$  на наружной окружности колеса  $\omega$  въ пределахъ отъ 1 до 1,5 м (связанъ предѣлъ при малыхъ напорахъ, вышій при большихъ). При невыгоднѣйшемъ дѣйстви колеса скорость  $v$  вступающей на колесо воды равна:  $v = 2v'$ , а потому напоръ  $h$ , соответствующій этой скорости, будетъ:  $h = \frac{4v'^2}{g}$ .

Если,  $R = \frac{1}{2} (H - \frac{v^2}{g})$  Ширина  $L$  колеса опредѣляется изъ формулы:  $Q = \omega L v$ , гдѣ ширина обода  $\omega$  берется въ пределахъ отъ 0,2 до 0,4 м. Уровень воды въ ларѣ надъ его тномъ заключается между 0,2 и 0,25 м. Число *ковшей*  $i$  опредѣляется условиемъ, чтобы разстояние между ними, считая по наружной окружности, было равно  $a$ , елѣд,  $i = \frac{2\pi R}{a}$ . Форма *береминныхъ*

*ковшей* находится слѣдующимъ образомъ. Откладываемъ по наружной окружности разстояние между точками ( $D = a$  (фиг. 159)) и черезъ  $C$  проводимъ радиальную линию  $CH = a$ ; дѣлимъ эту послѣднюю пополамъ въ точкѣ  $A$  и отъ точки  $D$  откладываемъ вверхъ длину  $DE$  отъ  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{5}$   $a$ , соединяемъ точку  $E$  соединяемъ съ  $A$ ; тогда  $AE$  будетъ первая грань *ковши*,  $AB$  вторая (то грань, третья грань образуется добухомъ), а остальныя двѣ обоями. Если *ковши жестяныя*, то грань  $AB$  выгибаетъ по полуокружности, диаметръ которой равенъ  $AB = \frac{a}{2}$ , а другая грань  $EA'$  касательна къ этой полуокружности и проходитъ черезъ точку  $E$ , которая находится по предыдущему

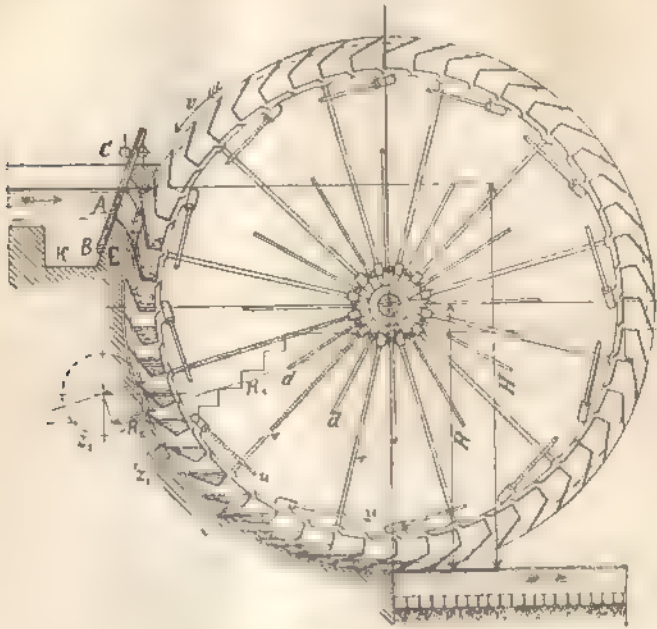


Фиг. 159

**166. Средненаливное колесо** (фиг. 160). Главныя части этого колеса тѣ же, что и у верхненаливныхъ. Они устанавливаются (вмѣсто верхненаливныхъ) въ тѣхъ случаяхъ, когда положеніе уровня воды въ ларѣ значительно измѣняется на  $\rho$ , при пониженіи его на величину близкую къ 0,20—0,25 м., дѣйствіе верхненаливнаго колеса можетъ совершенно прекратиться отъ недостатка напора, необходимаго для образования скорости  $v$ , съ какою вода должна вступать въ колесо. Вліяніе колебаній уровня воды въ ларѣ устраняется въ средненаливныхъ колесахъ устройствомъ щита съ *направляющими перегородками* (фиг. 161). Первая стѣнка  $EF$  тары окружаетъ колесо концентрически и снабжена отверстиями (отъ 3 до 5). По внутренней плоской грани стѣны  $EF$  движется щитъ  $AB$ , при помощи рейки  $D$  и шестерни  $C$ . Подымающій щитъ вверхъ или внизъ, можно установить его верхній край противъ одного изъ отверстій перегородки  $EF$ , такъ чтобы вертикальное разстояние открытаго отверстия перегородки отъ уровня воды въ бакѣ было равно тому напору  $h$ , какой соответствуетъ скорости  $v$ . Число отверстій въ направляющей перегородкѣ зависитъ отъ величины измѣненія уровня воды въ ларѣ. Вертикальное же разстояние крайнихъ отвер-

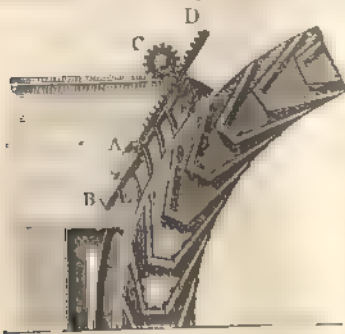


стиг должно равняться разности уровней воды въ ларѣ во время самой высокой и самой низкой воды.



Фиг. 160.

На фиг. 160 буквою  $r$  означены радиальные спицы,  $d$ —диагональные и  $u$ —периферические; сложная система ручьев необходима



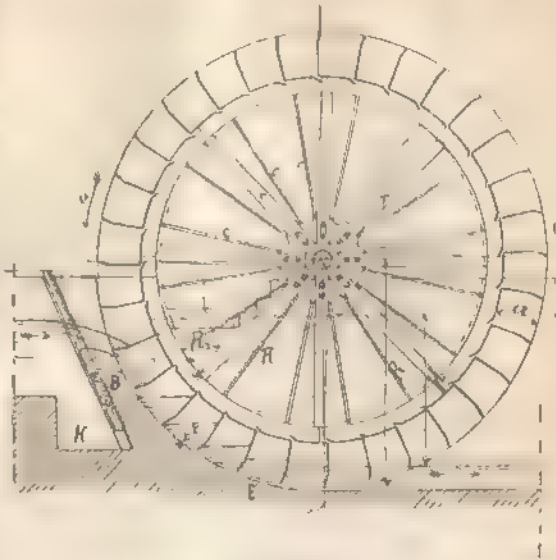
Фиг. 161.

здѣсь для избѣжанія перекашиванія ободьевъ, такъ какъ зубчатый вѣнецъ  $z$ , укрѣпленъ къ ободу. Передаточная шестерня означена буквою  $z_1$ ; наконецъ  $k$  представляетъ резервуаръ, устраиваемый передъ щитомъ для собиранія постороннихъ тяжелыхъ тѣлъ (гравія, щебня).

Какъ показываютъ опыты, полная работа срежениннаго колеса заключается между 65 и 70% запаса работы воды, т. е.:

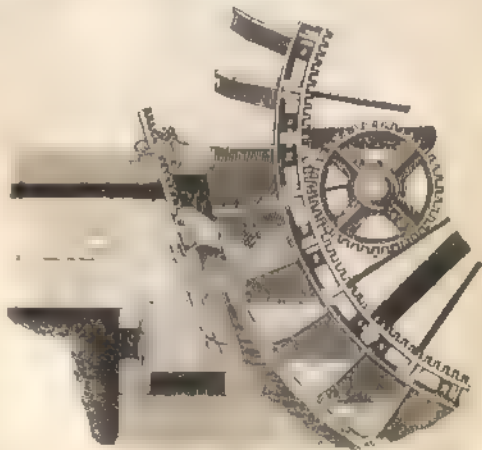
$$T_a = 0,65 \Delta QH \text{ до } 0,7 \Delta QH \dots (56).$$

**167. Боковое колесо (фиг. 162).** Боковое колесо устанавливается въ круговомъ концентрическомъ руслѣ ВЕ наплывчатое котораго заключается въ уменьшеніи потери напора отъ преждевременнаго выливанія воды изъ колеса, а также въ уменьшеніи вреднаго вліянія центробѣжной силы, дѣйствіемъ которой вода могла бы разбрасываться изъ ковшей при значительной скорости колеса. Существованіе такого русла даетъ возможность увеличить *коэфф. наполненія* и *скорость вращенія боковыхъ колесъ*, съ цѣлью *уменьшить ширину колеса* и упростить передачу. При устройствѣ круговаго русла



Фиг. 162.

должно быть обращено вниманіе на то, чтобы зазоръ между русломъ и колесомъ былъ достаточно малъ; въ противномъ случаѣ потеря воды черезъ него можетъ быть на столько велика, что полезное дѣйствіе русла почти совершенно уничтожится. При каменномъ руслѣ зазоръ этотъ дѣлается отъ 6 до 8 мм., а при деревянномъ (фиг. 163) отъ 1 до 1,5 сант. Въ резервуарѣ К скопляются постороннія тяжелыя тѣла.

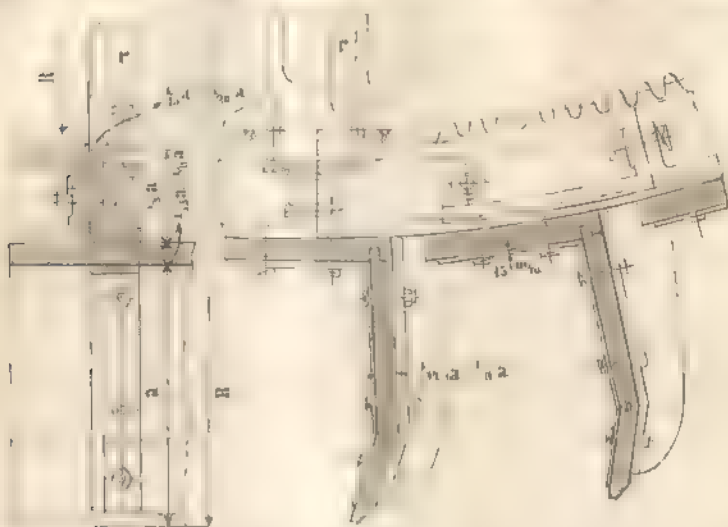


Фиг. 163.

Какъ и въ верхненаливныхъ колесахъ, въ боковомъ колесѣ вода дѣйствуетъ ударомъ при вступленіи на колесо и затѣмъ своимъ

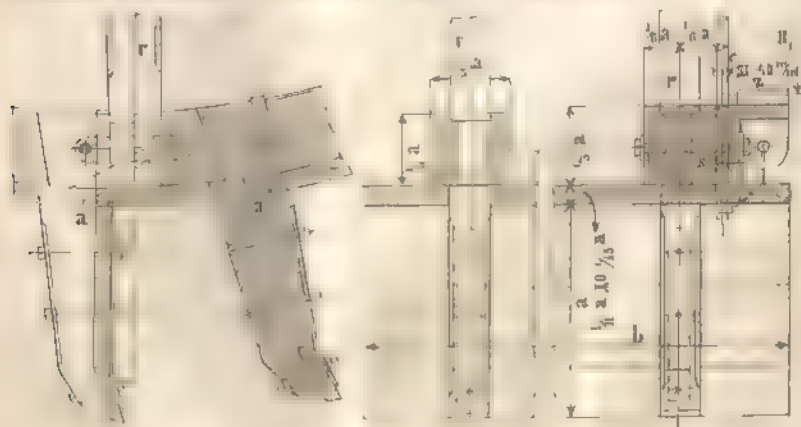
вѣсомъ. Впускъ воды производится всего чаще не черезъ щитовое окно, а черезъ боковую

Боковые концы сходятся или *коилими* как и среднеазиатский (фиг. 161) или же *некоилими* (фиг. 162) и подобно



Aug. 164.

соединениями, строятся из металла или дерева. На фиг. 161 показаны соединения чугунного колеса с деревянными лопатками.



Фиг. 165.

а на фиг. 165 — соединения деревянного колеса. При а (фиг. 165)

въ кожухѣ устроены вентиляціонныя окошки — для свободнаго выхода воздуха.

*Коэффициент полезнаго дѣйствія боковыхъ колесъ съ кожухами, какъ показываютъ опыты, лежитъ въ предѣлахъ отъ 0,65 до 0,70, а боковыхъ колесъ съ лопатками отъ 0,60 до 0,65.*

**168. Пошвенное колесо** (фиг. 166). Всѣ части этихъ простѣйшихъ колесъ дѣлаются изъ дерева — наиболее дешеваго материала. Если ширина колеса меньше 2 арш., при диаметрѣ до 6 арш., то оно имѣетъ одинъ *брусчатый ободъ*. А (изъ ели, которая меньше намокаетъ, нежели сосна), составленный изъ отдѣльныхъ колецъ; послѣдніе соединяются между собою врубкою и болтами. При ширинѣ колеса болѣе 2 арш. дѣлать *два обода*, построенныхъ каждый изъ двухъ рядовъ еловыхъ досокъ, распиленныхъ по пилону и скрѣпленныхъ между собою сосновыми шпалами, нагелями и клиньями. На ободѣ колеса размѣщены на равныхъ раз-



Фиг. 166.

стояніяхъ прямыя лопатки (*перья*) ВВ. Если ободъ брусчатый, то послѣднія прививаются къ особымъ клинообразнымъ оркамъ (на подобіе фиг. 165), которые вставляются въ проемы, пробитыя въ ободѣ, и укрѣпляются чеками или клиньями. Въ слѣдствіе *малыхъ покатыхъ ободовъ* перья загоняются въ пазы (*ручьи*), выдолбленные въ ободахъ, причемъ послѣдніе стягиваются желѣзными тягами. Что касается лопатокъ, то онѣ дѣлаются или *радиальныя* (фиг. 166) или закрѣпляются *подъ угломъ къ радиусу*, или состоятъ изъ *двухъ частей каждая подъ угломъ къ радиусу*, для *одной (перья) по радиусу, а другая (подперекл.) подъ угломъ къ радиусу*. Последняя конструкция признается лучшей.

Деревянный *валъ* О составляется обыкновенно изъ 1 *сосновыхъ бревенъ*, обтесанныхъ на четыре канта и связанныхъ желѣзными хомутами. На концахъ вала выдолбливаютъ гнѣзда для чугунныхъ цифръ, снабженныхъ крестообразнымъ хвостомъ; заложивши циф-

фы въ соответствии гнѣзда, нагоняють на концы вала желѣзные *бузды* (хомуты), числомъ отъ 4—6, предварительно нѣсколько нагрѣтые Цапфы лежатъ на чугунныхъ подшипникахъ (иногда подшипникомъ служитъ просто камень съ выемкою для помѣщенія цапфы), устанавливаемыхъ нерѣдко прямо на стѣнѣ машиннаго дома (или такъ наз. *теплуши*) и снабженныхъ бронзовыми вкладышами.

Ободья колеса соединяются съ валомъ при помощи *радиальныхъ стѣвъ* (фиг. 166), но чаще при помощи накрестъ перестѣкающихся основныхъ или словыхъ *ручекъ* (фиг. 158) врубленныхъ одна въ другую (около вала) въ полѣ-дерева и скрѣпленныхъ съ ободомъ (посредствомъ врубкн же) по крайней мѣрѣ *двумя двоймовыми болтами*.

При сборкѣ колеса сначала валъ устанавливается на подшипникахъ (по ватерпасу), затѣмъ устанавливаются ручки, прикрѣпляютъ части обода къ ручкамъ болтами, соединяя ихъ въ тоже время между собою нагелями, закрѣпляютъ, послѣ надлежанія на шпрки ободьевъ, окончательнo ручки, вгоняють въ ручки черри и подерри (если онѣ есть), послѣ чего ободья колеса стягиваютъ болтами.

Вода подводится къ пошвенному колесу при помощи прямо угольнаго русла, построеннаго для 2<sup>ой</sup> словыхъ или основныхъ досокъ; полѣ русла (сдѣлка наклонной—на 1°) наливается на *насадки* (ложки), укрѣпленные на сваяхъ (фиг. 151, § 158) или дѣлается каменными (фиг. 166). Въ руслѣ передъ колесомъ ставится наклонный (10°—20°) *щитовой затворъ* V, состоящій изъ досчатаго щита, движущагося между двумя наклонными стойками. Для уменьшенія сжатія струи къ нижней доскѣ щита прибиваютъ подукрѣпленный брусокъ (наз. *плужкою*). Поднятіе щита производится обыкновенно при помощи *щитовой шестерни* (изъ клена или осины), захватывающей за катанги подъемныхъ ручекъ, къ которымъ прибивается щитъ. *Подводящее русло начинается отъ плотика, въ который устроены щитовой затворъ* (верхній), *и продолжается нѣсколько до колеса*. Для того, чтобы какъ можно меньше воды протекало безъ дѣйствія между колесомъ, стѣнками и дномъ русла оставляется самый незначительный зазоръ (около  $\frac{1}{2}$ ") необходимый для свободнаго движенья колеса. Въ колесахъ хорошо устроенныхъ, часть дна русла лежащая подъ колесомъ, окружаетъ его концентрически на протяжении, соответствующемъ тремъ или четыремъ дощаткамъ. Подобнымъ устройствомъ русла значительно *уменьшается потеря воды* черезъ нижній зазоръ.

**169 Полезная работа пошвеннаго колеса.** Для опредѣленія полезной работы пошвеннаго колеса воспользуемся общими ур. передачи, выведеннымъ въ § 160. Назовемъ буквою  $v$  скорость на окружности колеса и  $c$  скорость притекающей къ нему воды, рав-



ную  $V/2gH$ , гдѣ  $H$  есть вертикальное разстояние отъ верхняго уровня до нижняго края щита (§ 141), а коэфф скорости принять  $= 1$ .

Вода, вступивъ въ колесо, движется затѣмъ со скоростью  $v$  по потоку и слѣд., въ моментъ выхода изъ колеса она обладаетъ скоростью  $w = v$ . Такъ какъ скорость  $v$  воды за мгновеніе до встрѣчи съ лопаткою превращается въ скорость  $v$  сейчасъ послѣ встрѣчи, при чемъ направленія этихъ скоростей можно считать совпадающими между собою, то разность  $v - v$  представляетъ *потерю скорости на ударѣ* въ моментъ встрѣчи воды съ лопаткою, слѣд., и  $v - v$ . Такимъ образомъ, въ этомъ примѣнѣ не удовлетворены два главные условія наиболѣе выгоднаго дѣйствія *вода вступивъ въ него съ скоростью и оставляетъ со скоростью, болѣею нуля*. По выходе изъ колеса, вода не проходитъ никакого пути по вертикальному направленію, чтобы упасть въ русло, слѣд. высота  $h' = 0$ . Поэтому, не принимая во вниманіе гидравлическихъ сопротивленій при движеніи воды отъ щита къ колесу, а также тренія въ оси и потерь воды черезъ зазоры, будемъ имѣть:

$$T_h = \Delta Q \left[ H - \frac{v^2}{2g} - \frac{w^2}{2g} \right] = \frac{\Delta Q}{2g} \left[ c^2 - (c - v)^2 - v^2 \right],$$

или:

$$T_h = \frac{\Delta Q}{g} v (c - v) \quad . \quad (a)$$

Изъ этой формулы видно, что наиболѣе выгоднѣйшее значеніе для скорости колеса есть:  $v = 0,5c$  (§ 164), а потому:

$$T_h, \text{ max} = 0,5 \frac{\Delta Q}{2g} c^2, \text{ или } T_h, \text{ max} = 0,5 \Delta Q H \quad . \quad (57)$$

Такимъ образомъ, при наиболѣе выгоднѣйшихъ условіяхъ, пошвенное колесо можетъ передать только половину *заказа* работы воды. Въ дѣйствительности же полезная работа, передаваемая *надомъ* колеса, какъ показали опыты съ нажимомъ *Прюм*, не превосходитъ 30%, <sup>1)</sup> запаса работы воды, т. е.  $\mu = 0,30$ , по причинѣ *гидравлическихъ сопротивленій*, встречаемыхъ водою на пути къ колесу, *тренія въ цапфахъ* колеса, которыхъ мы не приняли во вниманіе при выводѣ формулы (57), а также вѣдѣвіе того обстоятельства, что *часть воды проходитъ чрезъ щитъ между колесомъ и русломъ*, не производя дѣйствія на колесо.

И такъ, *полезная работа пошвеннаго колеса*

$$T_h = 0,3 \Delta Q H \text{ п. ф., или } N = \frac{0,3 \Delta Q H}{15} \text{ п. л.} \quad . \quad (58)$$

<sup>1)</sup> Въ колесахъ, снабженныхъ крутою русломъ, т. е. въ которыхъ отъ поднаго русла охватываетъ вращающіеся колесо на протяженіи 3—4 лопатки, коэфф. полезнаго дѣйствія достигаетъ величины 0,35.

Опыты *Боссю* и *Смита* показали, что при этомъ *начальная скорость колеса* равна не 0,5с, а изменяется отъ 0,4 до 0,45с.

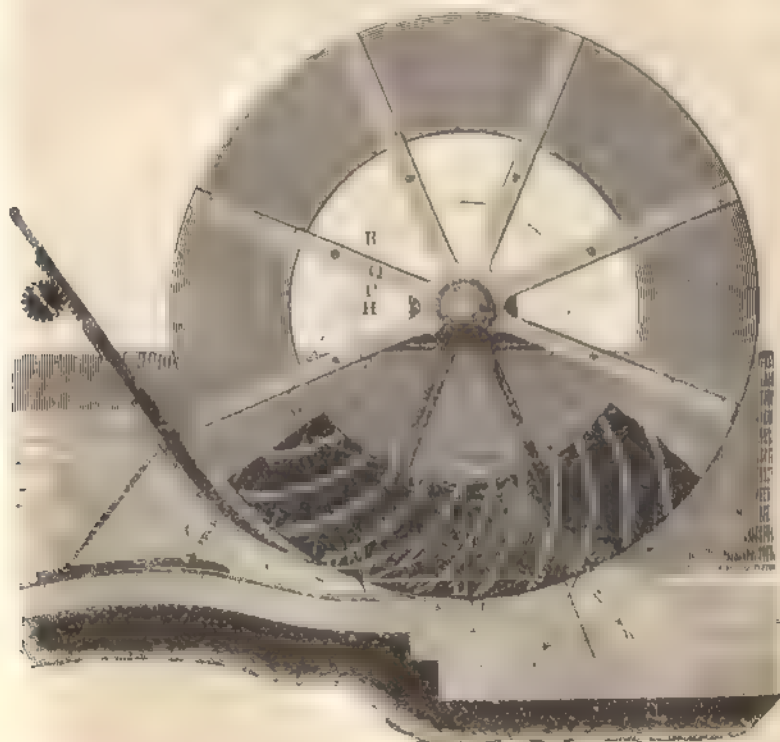
**170. Главнѣйшіе размѣры пошвеннаго колеса.** При построении колеса задается число томъ силъ  $N$  и напоръ  $H$ . По этимъ даннымъ опредѣляютъ *расходъ  $Q$*  по формулѣ (158) гдѣ  $\alpha$  въ куб. ф. воды  $\Delta = 1.7286$  куб. Если существующій въ дѣйствительности расходъ меньше вычисленнаго, то устройство пошвеннаго колеса требующей силы  $N$  и напора  $H$  возможно. Зная  $Q$ , приступаютъ къ опредѣленію размѣровъ колеса. Если *толщина слоя прилегающей воды* будетъ  $\delta$  а *ширина русла*  $L$ , то формула  $Q = 0.71L\delta \sqrt{2gH}$  (§ 141) можетъ служить для опредѣленія  $L$ , а слѣд. и *длины лопатки*, принявъ зазоръ въ  $\frac{1}{2}$  дюйма, а  $\delta = 0.11H$ . *Радиусъ колеса* опредѣляется изъ формулы  $\frac{2\pi Rn}{60} = 0.4с$ , если число оборотовъ вѣдано, если нѣтъ, то  $R$  берутъ произвольно, отъ  $H$  до  $2.5H$  и изъ этой же формулы опредѣляютъ  $n$ , по которому выбираютъ *передатку*. Когда лопатки  $n$  считаемая по радиусу, должны быть таковы, чтобы вода не могла перелиться черезъ верхнюю грань ихъ, т. е.  $n$  должно быть больше толщины слоя  $\delta$  воды надъ колесомъ; обыкновенно  $n$  дѣлать равнымъ  $2\delta$ . Что же касается  $\delta_0$  то  $\delta_0 > \delta$ , вследствие того, что скорость воды  $v$  между лопатками меньше скорости  $c$  ее до вступленія въ колесо ( $v = 0.4с$ ), и опредѣляется изъ равенства  $cL\delta = vL\delta_0$ . Наконецъ, *число ш. лопатокъ* опредѣлится по условию, чтобы расчетное между ними было равно высотѣ ихъ  $a$ :  $m = \frac{2\pi R}{a}$ . Толщина вала дѣлается отъ 8 до 10 вершковъ. Остальные размѣры частей колеса опредѣляются по условиямъ прочности, слѣдуя правиламъ, излагаемымъ въ курсѣ построения машинъ.

**171. Колесо Понселе** (фиг. 167) Пошвенное колесо было усовершенствовано въ 1825 г. фр. инж. Понселе, который показалъ, что устраивая въ немъ вмѣсто прямыхъ лопатокъ, можно почти совершенно устранить ударъ воды при вступленіи въ колесо и значительно уменьшить скорость выхода воды изъ колеса.

Колесо Понселе строится *деревяннымъ или металлическимъ*. И то и другое имѣютъ два обода, которые въ *деревянныхъ колесахъ* строятся изъ досокъ, также какъ и лопатки, дощечки укрѣпляются въ навалѣ, выходящихъ въ обѣдѣхъ. Деревянные ручки соединяются съ ободами вращеніемъ и скрѣпляются ободами соединеніемъ же съ ними съ валомъ достигается укрѣпленіемъ конною силой въ обѣихъ мѣстахъ, сдѣланныхъ въ валѣ. Въ *металлическомъ колесѣ* толщина дѣлаются изъ тонкаго листового железа отъ 1 до 6 мм. толщиной, и прирѣзается болтами къ особымъ прилимамъ, находящимся на внутренней сторонѣ чугунныхъ ободовъ. Слѣды металлическаго колеса дѣлаются изъ круглаго железа и скрѣпляются съ ободами посредствомъ болтовъ, а съ валомъ при помощи такъ наз. *ручекъ* (фиг. 166) или цилиндрической втулки, на боковой поверхности которой крѣпится особая гнѣзда, предназначенныя для принятія *моментностей* ручекъ, въ этихъ гнѣздахъ ручки укрѣпляются посредствомъ винтовъ или болтовъ.

Все сказанное относительно *потери воды через зазоры* и въ промежуткахъ между лопатками въ поперечномъ колесеъ относится и къ колесу Понселе, потому что для возможно болѣе выгоднаго дѣйствія этого колеса, нужно имѣть зазоры столь возможно меньше и вышайшую часть его окружать коническими ручьями на протяжении, не менѣе двухъ промежутковъ между лопатками. Наконецъ, для вознагражденія неизбежной потери работы отъ трены воды о дно питающаго русла ему даютъ уклонъ отъ  $\frac{1}{10}$  до  $\frac{1}{15}$ , а для того, чтобы колесо не затопылось, если по мѣстнымъ условиямъ подобное затопленіе возможно, при началѣ ороднаго русла делаютъ дорель около 1, 2 фута высоты и ширяющаго самое русло.

**172. Полезная работа колеса Понселе.** Пусть  $AK$  (фиг. 167)



Фиг. 167

будетъ одна изъ кривыхъ лопатокъ колеса и  $\alpha$  — уголъ, составленный скоростью воды, за мгновенное до вступленія на эту лопатку, съ касательною къ колесу. Разложимъ скорость  $v$  на двѣ составляющія: одну, равную  $v \cos \alpha$  — скорости лопатокъ и направленную по касательной къ колесу, и другую  $v \sin \alpha$  — величина и направленіе ко-

торой определяется из параллелограмма  $\Delta c_1c_2v$ . Первая составляющая представляет *скорость переноса движения* частиц воды вместе с лопаткой, вторая *относительную скорость* частиц вдоль лопатки; величина ее будет равна:

$$c_2 = \sqrt{c^2 + v^2 - 2vc \cos \alpha}.$$

Представим себе, что кривые лопатки устроены таким образом, что первый элемент их совпадает с направлением относительной скорости  $c_1$ , тогда ясно, что *вода вытунит на лопатку без удара*, т. е.  $\alpha = 0$ . Предположим теперь, что угол  $\alpha = 0$ , т. е. что направление скорости  $c$  воды совпадает с касательной к колесу; тогда относительная скорость  $c_1 = c - v$  и будет направлена по касательной к колесу (рис. первый элемент лопатки должен совпадать с этой касательной). Относительная скорость  $c_1$ , с какою вода начинает двигаться по лопатке, будет постепенно уменьшаться, по мере восхождения вода по лопатке вверх, и наконец обратится в нуль, тогда вода поднимется на высоту, равную  $\frac{c^2 - v^2}{2g}$ , после чего вода начнет опять двигаться вниз по лопатке, и когда придет на ее последний элемент, то опять будет обладать той же скоростью  $c_1$ , такую она имела при начале своего восходящего движения. Пусть, доходящая скорость  $w$ , с какою вода остается в колесе, будет равна расстоянию  $x$  от относительной скорости  $c$ ,  $w = c - x$  и скоростью  $x$  сама колесо, т. е.  $w = c_1 = x = c - 2v$ . Наконец, так как в этом колесе, вообще тому так и во внешнем,  $x' = 0$ , то для скорости  $w$  колесо не принимая во внимание гидравлических сопротивлений и дроссель, получим выражение (§ 160).

$$T_1 = \frac{\Delta Q}{g} \left( c^2 - (c - 2v)^2 \right), \text{ или } T_2 = \frac{4\Delta Q}{2g} v(c - v)$$

Наибольшей величины эта работа достигнет при  $v = 0,5c$  ( $w = 0$ ), следовательно

$$T_{\max} = \Delta Q \frac{c^2}{2g} = \Delta Q H. \dots \dots (59)$$

т. е. теоретически колесо Понсэ способно преобразовать во полезную работу всю энергию воды и, следовательно, представляет собой совершенный приемник. В действительности же полезная работа 1 колеса составляет только от 55% до 60% энергии падающей воды, при этом, как показали многочисленные опыты, *наибольшая скорость* колеса  $v = 0,5c$ . Потери энергии происходят, во-первых, *в момент удара* между частицами воды начинающими свое восходящее движение по лопатке и частицами, ранее поднимавшимися по-вторых, первые элементы лопаток не могут быть касательны к внешней окружности колеса, как мы

допускали, ибо вода, которая, по предположению, притекает по касательной къ этой окружности, не могла бы войти въ лопатку, чему препятствовала бы предыдущая такъ какъ первые элементы этихъ двухъ лопатокъ, образовали бы уголъ, почти равный нулю. На практикѣ уголъ  $\alpha$  обыкновенно бываетъ отъ  $15^\circ$  до  $20^\circ$ , а уголъ, образуемый первыми элементами лопатки съ касательной, дѣлается отъ  $26^\circ$  до  $27^\circ$ . Сверхъ того, потеря работы происходитъ *вследствие протекания воды черезъ зазоры, вследствие трения въ шарахъ колеса, а также по причинѣ существованія гидравлическаго сопротивленія при движении воды въ подводномъ руслѣ и по лопаткамъ*.

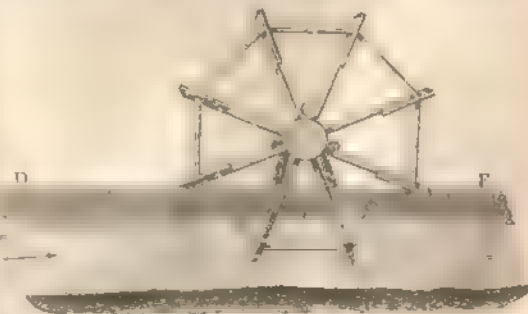
Взявъ среднее значеніе для коэффициента полезнаго дѣйствія  $\mu = 0,6$ , получимъ:

$$T_0 = 0,62QH \text{ п. ф., или } N = \frac{0,62QH}{15} \text{ пар. л.} \quad (60)$$

т. е. колесо Понсле работаетъ повои дѣиствіемъ

**173. Главнѣйшіе размѣры колеса Понсле.** Радиусъ колеса опредѣляется по заданному числу оборотовъ его  $n$  (до 10 въ минуту) пазъ формулы:  $\pi D n = 60 \cdot v = 0,55c$ . Если же  $n$  не дано, то радиусъ опредѣляютъ по формулѣ:  $R = 1,75 H$ , причемъ  $R$  не долженъ быть болѣе 3,5 м. Ширина русла опредѣляется по формулѣ:  $L = \frac{Q}{\delta_1} = \frac{0,127N}{\delta_1}$  (но не болѣе 4 м); толщина же  $\delta_2$  слои воды въ руслѣ опредѣляется по формулѣ:  $\delta_2 = 0,19H$ . Что касается высоты  $h$  лопатокъ, то ее дѣлаютъ несколько болѣе высоты  $\frac{v}{c}$  на которую поднимается вода по лопаткѣ, при  $v = 0,55c$  эта высота равна  $\frac{1}{4} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{H}{4}$ , поэтому высоту лопатокъ делаютъ равною  $\frac{H}{5}$ . Лопаткамъ даютъ обыкновенно изогнутую форму. Центр  $M$  и направляющей окружности находится въ пересѣченіи перпендикуляровъ:  $MA$  — къ первому элементу лопатки (къ параболѣ отклоненія и скорости  $c$ ) и перпендикуляра  $MO$  — къ соответствующему радиусу  $AC$ . Число лопатокъ опредѣляется по формулѣ Редгенбахера:  $m = \frac{27R}{0,2 + 0,7a}$ , гдѣ  $R$  и  $a$  выражены въ метрахъ.

**174. Висячее колесо (фиг. 168).** Висячее колесо отличается отъ повивеннаго тѣмъ, что не имѣетъ русла, а ставится на двухъ барьяхъ (ПЕ), причемъ лопатки его погружаются прямо въ воду рѣки (или канала). Его устанавливаютъ въ тѣхъ случаяхъ, когда нельзя устроить плотины или отводную канаву, и преимущественно для движенья мельницъ, которыя помѣщаются на тѣхъ же судахъ.



Фиг. 168.



Так как скорость течения воды въ рѣкѣ не велика, то и работа висячаго колеса выходитъ гораздо меньше работы наповняющихъ колесъ тѣхъ же размѣровъ. Поэтому висячія колеса ставятъ только въ рѣкахъ, скорость течения которыхъ не менѣе 1,5 м. При устроѣннѣ колеса должно стараться, чтобы какъ можно менѣе работало тѣло въ водѣ, а именно сопротивленія, а для этого колеса эти дѣлаютъ по возможности легкими. Съ этою цѣлью, несмотря на значительный диаметръ колесъ (до 15 фут.), не дѣлаютъ болѣе 12 лопатокъ <sup>1)</sup> и не устраиваютъ обода, а лопатки прикрѣпляютъ прямо къ спицамъ (В.В.). Лопатки дѣлаются очень длинными (отъ 6 до 18 фут.) и широкія (отъ 1 до 2 ф.), для того чтобы онѣ могли принимать дѣйствіе большого количества воды; а спицы, для предупрежденія прогиба, связываютъ желѣзными обручами.

Полезная работа висячихъ колесъ можетъ быть вычислена по той же формулѣ, какъ и для наповняющихъ колесъ:

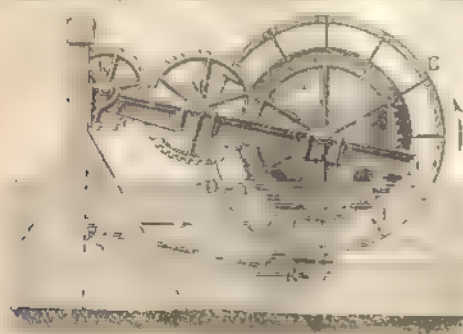
$$T_a = \frac{\Delta Q}{g} v (c - v) \dots (a)$$

гдѣ  $Q$  есть объемъ воды, притекающей въ секунду къ колесу и дѣйствующій на лопатки. Онъ равенъ:  $Q = Fc$ , гдѣ  $F$  есть площадь погруженной части лопатки и  $c$  — скорость течения. Теоретически наибольшая величина полезной работы висячаго колеса составляетъ  $v = 0,5c$ . Однако опыты Васа показали, что въ дѣйствительности наибольшая работа колеса будетъ при  $v = 0,4c$ . Наконецъ по наблюденіямъ Полея, если вмѣсто  $c$  принять наибольшую скорость течения средней струйки на поверхности рѣки, то полученную формулу можно превратить въ практическую, коэффициентомъ 0,8. Введя въ эту величину въ формулу (a), получимъ для наибольшей полезной работы висячаго колеса выраженіе:

$$T_a = 0,8 \cdot \frac{1000 F c}{g} \cdot 0,4c (c - 0,4c) \text{ или } T_a = 19,57 F c^2 \text{ к. м.} \dots (61)$$

Напримѣръ, при  $F = 1,48$  кв. м. и  $c = 2$  м.,  $T_a = 231,7$  к. м.

175. Въ числѣ висячихъ колесъ относятся такъ называемыя *напоплавочныя колеса* (рис. 169), состоящее изъ цилиндра (с полусферическими концами), склепаннаго изъ котельнаго желѣза и плавающего на водѣ. Желѣзныя лопатки приклеиваются прямо къ цилиндру, безъ помощи спицъ и стягиваются, для большей прочности, желѣзными обручами. Днища цилиндра снабжаются цапфами, на одной изъ которыхъ насажено зубчатое колесо, служащее для передачи движенія.



Фиг. 169.

устройствѣ, колесо можетъ двигаться по поверхности воды и вращаться въ рѣкѣ безъ помощи передачи движенія отъ колеса приводному валу К, который устанавливается на сваѣхъ или же на сушѣ.

<sup>1)</sup> Наполеонъ указываетъ на положеніе лопатки на разстояніи, равномъ ихъ высотѣ, и наклонитъ къ радиусу подъ угломъ отъ 15° до 30°.

79. Построить вершениальное колесо в 30 пар лоп. Дано:  $H = 10$  м,  $r = 1,2$  м, высота ковшеи  $z = 0,3$  м, коэф. наплавания в — . Къ додеку

прикреплённый зубчатый элемент диаметром в 1 м. Какой должен быть радиус шестерни, закреплённой на передаточном валу, чтобы этот последний делал 60 оборотов в минуту?

80. Каким радиусом должны иметь поперечные колеса, если число оборотов в минуту  $n = 8$ , коэффициент трения  $\mu = 0,07$  и радиус колеса  $R = 0,1$  м?

и расходъ воды въ источникѣ, питающъ Верхній резервуаръ, въ 2,5 куб. м.

82. По троните към о. Понде въ 1<sup>а</sup> пар. д. ширината  $B = 1,2$  м. Число оборотовъ колеса въ минуту 8.

ГЛАВА VIII.

Турбины<sup>1)</sup>.

## Водостолбовые машины

[illegible]

**176. Подраздѣленіе турбинъ** Турбины раздѣляются на *плотныя* и *партажные*. Въ первыхъ вода движется одновременно на всѣ лопасти, а въ вторыхъ — только на нѣкоторыя въ пикъ

Каналы подпояс гакт п парадольныя тюрбины могуць быць раздзелены на *радыяльныя* п *бачковыя*. В у пачатках вода дывіцца вучуры тюрбы п на прамавугольным пху радасва. у вучуры п на прамавугольным пху радасва. у вучуры п на прамавугольным пху радасва. у вучуры п на прамавугольным пху радасва.

<sup>1)</sup> Изобретением турбины считается (р. инж. *Бурман*, который первый начал их строить) в 1826 г. и дать самое название, но первая рационально устроенная турбина (различная) была построена (со учеником *Фуркрангом*) в 1832 г. Испытана эта турбина была в 1836 г. *Морсом*, а ее теория была дана *Понсе* в 1848 г. (в это время турбины служили на севеянских мельницах только). В 1841 г. была построена снова, именно *Линделем* в *Ниссе* и *Жюльен* в *Мюльхаузене* турбина, которая впоследствии (1844) была усовершенствована фр. механи-

или съ *внутреннимъ* или съ *внешнимъ* (американскія турбины) подводомъ воды, в первомъ вода движется отъ центра къ окружности, *з* вторыхъ—наоборотъ.

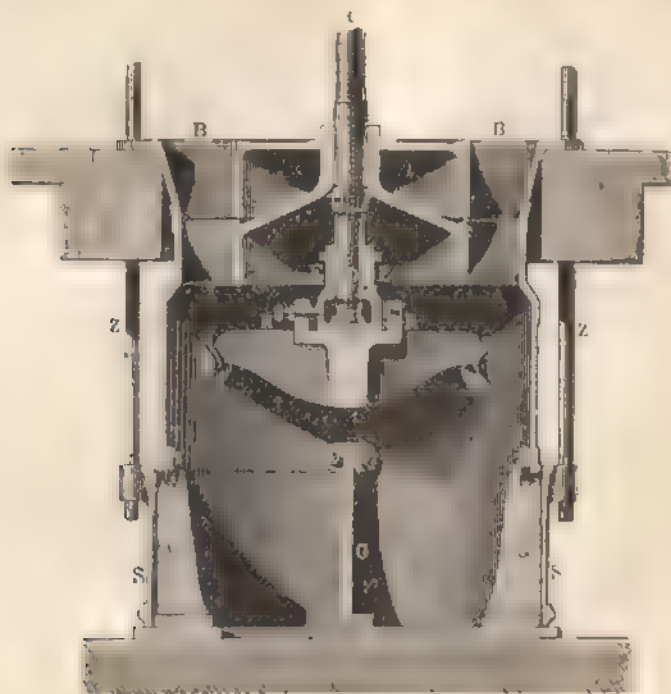
По величинѣ напора турбины раздѣляются на турбины *высокаго давления* ( $H > 4$  м.) и турбины *низкаго давления*. Наконецъ по способу дѣйствія воды, обусловливаемому *формой лопатокъ* турбиннаго колеса, турбины раздѣляются на *реактивныя* и *активныя*.

## 1. ПОЛНЫЯ ОСЕВЫЯ ТУРБИНЫ.

**177. Турбина Геншеля — Жульваля.** На фиг. 170 представлена *турбина низкаго давления*. Она состоитъ изъ горизонтальнаго колеса АА съ кривыми лопатками, заклиниваемаго на вертикальномъ валу (В) и установленнаго внутри чугунной трубы ТТ такъ, что между колесомъ А и стѣнками трубы оставленъ лишь самый незначительный зазоръ, для возможности свободнаго вращения турбины. Это колесо называется *турбиннымъ колесомъ* или *турбиною*. Лопатки турбины образуютъ кривые каналы всегда одинаковой ширины сверху до низу, по которымъ движется вода. Пасть турбины, въ томъ мѣстѣ, гдѣ труба имѣетъ коническую форму, установлено неподвижное колесо ВВ съ кривыми же лопатками, служащими для направленія движенія воды, вступающей въ турбину. Этотъ приборъ наз. *направляющимъ аппаратомъ турбины*. Каналы его имѣютъ сверху ширину немного большую, чѣмъ внизу. Лопатки турбины и направляющаго аппарата представляютъ всего чаще кривыя или ирические поверхности, производящія которыхъ суть прямыя лини, проходящія черезъ ось турбины. На фиг. 173 видно взаимное расположеніе лопатокъ направляющаго аппарата и турбиннаго колеса—лопатки эти закривлены въ разные стороны. При идеальномъ устройствѣ лопатокъ турбины вода вступаетъ на нихъ изъ направляющаго аппарата безъ удара, причемъ, по мѣрѣ движенія ея по кривымъ лопаткамъ, вліяніемъ этихъ послѣднихъ живая сила ея преобразуется въ работу вращательныхъ и безлопастныхъ сопротивленій турбины. Пройдя турбину, вода собирается въ трубу Т, которую и заполняетъ мало по малу. Вращеніе турбины передается горизонтальному передаточному валу при помощи пары коническихъ колесъ

комъ *Фонтаномъ*, придумавшимъ новый регулирующий приборъ и т. п.аа *вертикальную* (§ 177), турбинному колесу онъ придаетъ устройство (расширяющіеся каналы), которое выразъ со тавляетъ одну изъ особенностей такъ называемыхъ *активныхъ турбинъ Жульваля*. Послѣднія появились въ 1835 г. и въ настоящее время, благодаря своимъ прекраснымъ качествамъ, представляютъ самый распространенный типъ турбинъ. Что касается теоріи турбинъ, то первое капитальное сочиненіе по этому предмету принадлежитъ Редтенбахеру (*Theorie und Bau der Turbinen und Ventilatoren*, 1844 г.).

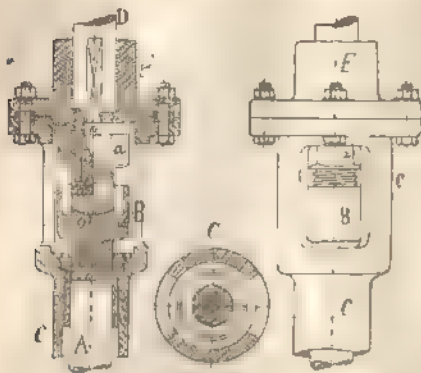
Подпятник EE устанавливается на прочной опоре FF по оси вала при помощи винтов KK. Для предупреждения провисания нижней воды, заключающей в себя перья песка, в коромысло E пятника, последняя снабжена сальниковой наливкой. Питание воды маслом производится по каналу, высверленному по оси вала. Если вкладки бакситовые, то для смазки пята употребляется верхняя (напорная) вода, которая подводится к пята особой трубкой. Такое устройство нижней цапфы, помещенной в нижнюю воду и



Фиг. 170.

при этом в стесненном пространстве представляет неудобство в отношении наблюдения за ней и осмотра которой может быть произведен лишь во время остановки и то если турбина не затоплена. Поэтому в настоящее время чаще всего устраивают так называемые *съемные пята* придуманные Фонтаном для своей турбины (фиг. 171). А есть жесткий неподвижный стержень, на котором установлен подпятник II, немного выше верхнего уровня. Жесткий вал D опирается стальную пятую на стальную же полушарную подпятника и получает вращение от активной на нем муфты E, которая соединена с лопатками с верхним концом (фо-

наремъ, въ которомъ установленъ подшипникъ; чугуннаго пусто-  
тлаго вала С; на нижнемъ концѣ вала С заклинена турбина. Та-

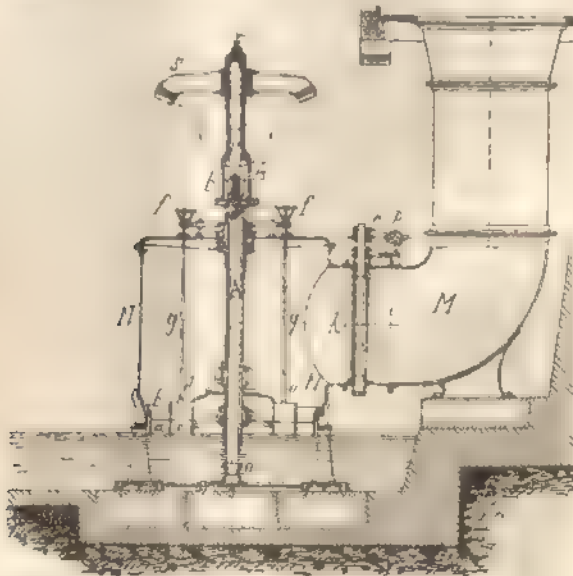


Фиг. 171

кимъ образомъ вѣсь подвиж-  
ныхъ частей турбины вмѣстѣ  
съ давленіемъ воды передается  
при посредствѣ стойки А фун-  
даменту. Посредствомъ гайки а  
можно поднимать или опускать  
валъ С вмѣстѣ съ турбиною и  
такимъ способомъ регулировать  
зазоръ между направляющимъ  
и рабочимъ колесомъ.

Для пуска въ ходъ и оста-  
новки разсматриваемой тур-  
бины служить *цилиндрический*  
*щитъ*, состоящій изъ короткой  
рабѣ SS охватывающей под-  
порки GG отводной трубы Т и

плотно прилегающей къ ней. Подняте щита производится  
помощью стержней ZZ.



Фиг. 172.

178. Устройство турбинъ Жюльваля *высокаго* фундамента отличается  
отъ предыдущаго только способомъ подведенія воды. На фиг. 172

представлена турбина Жонвалля высокого давления, состоящая из двух винтов а.е. из конусовальный представляет как бы отдельную турбину. Так как при значительном напоре длина вала (D) турбины вышла бы весьма большою, то во избежание этого, винты а.е. закрывают сверху крышкою, снабженною салникомъ, через который пропускают трусчатый валъ турбины. вода же поднимается трубою М, въ которой установленъ *поворотный клапанъ* К, служащий для пуска и въ ход и остановки турбины, движение этому клапану сообщается при помощи винтового зацепления рг.

**179 Расположеніе турбины Жонвалля относительно нижняго уровня.** Турбины Жонвалля работают одинаково хорошо, будутъ ли расположены подъ нижнею водою или выше нижняго уровня (въ трубѣ Т фиг. 179). Казалось бы, съ перваго взгляда, что при этомъ должна происходить потеря части напора Н, но не трудно показать, что эта потеря только кажущаяся и вознаграждается вполне *бессмысленнымъ действиемъ* турбины Т. Въ самомъ дѣлѣ, пусть  $p_0$  будетъ атмосферное давленіе на ед. площади верхняго и нижняго уровней и  $h$  — расстояние верхней плоскости турбины отъ свободной поверхности. Тогда давленіе сверху на каждую точку воды при ея вступленіи въ турбину, будетъ  $p_0 + \Delta h$  снизу же дѣйствуетъ атмосферное давленіе  $p_0$ , уменьшенное высокою столба воды  $\Delta h$  (1). Слѣдовательно, равнодѣйствующее давленіе будетъ  $p_0 + \Delta h - p_0 - \Delta h = 0$ , т.е. давленіе въ казенно-но точкѣ всегда одинаково и равно  $\Delta h$ , на какой бы высотѣ ни была установлена турбина. Однако, во избежаніе разрыва струйки, ко-ую не слѣдуетъ ставить выше наивысшаго предела, который опре дляется условіемъ, чтобы давленіе воды снизу на турбину было больше нуля, т. е.  $p_0 + \Delta h - p_0 - \Delta h > 0$ , откуда  $H - h < \frac{p_0}{\gamma}$ , или, такъ какъ  $\frac{1}{\gamma} = 10,334$  м. (§ 117), то  $H - h$  должно быть  $< 10,334$  м. Въ практикѣ  $H - h$  допускають не  $> 6 - 7$  м. Возвышенное положеніе турбины надъ нижнимъ уровнемъ облегчаетъ осмотръ и ремонтъ турбины, ибо для совершеннаго освѣщенія ея отъ воды достаточно прервать впускъ воды въ верхній резервуаръ.

**180 Условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія турбины.** Главнѣйшія условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія турбины, такъ и всякаго гидравлическаго механизма, состоятъ въ томъ, чтобы вода *сступала на турбину безъ удара и имѣла се со скоростью, равную нулю* (§ 161). Посмотримъ, какими обра зомъ можно удовлетворить этимъ условіямъ въ турбинѣ Жонвалля.

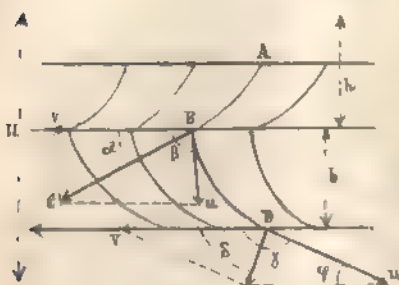
Нужно сдѣлать (1) — дать абсолютная скорость, съ какою вода падаетъ на лопатки турбины, равную нулю. Если же вода падаетъ на лопатки турбины съ скоростью  $u$ , то относительная ско-



рость  $u$ , съ какою вода начнетъ двигаться по лопаткѣ BD, выразится, по величинѣ и направлению, диагональю Bа параллелограмма, построеннаго на абсолютной скорости  $c$  и скорости переноснаго движениа  $v$ , взятой въ обратномъ направленіи, т. е.

$$u^2 = v^2 + c^2 - 2vc \cos \alpha \dots (I)$$

$$\frac{v}{c} = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \dots (II)$$



Фиг. 173.

Располагая первый элемент лопатки BD по направлению относительной скорости  $u$ , можно устранить вполне ударъ воды о лопатки. Такимъ образомъ, первое условие наилучшаго дѣйствія турбины можетъ быть удовлетво- рено.

При движеніи воды между лопатками турбины начальная относительная скорость ея  $u$  измѣняется и пріобрѣтаетъ на послѣднемъ элементѣ лопатки BD некоторое значеніе  $u'$ . Въ моментъ выхода изъ турбины кромѣ этой скорости вода обладаетъ еще скоростью  $v$  лопатки, поэтому абсолютная скорость  $w$ , съ какою вода оставляетъ турбину, выразится:

$$w^2 = v'^2 + v^2 - 2u'v \cos \varphi,$$

гдѣ  $\varphi = 180^\circ - \gamma$  есть уголъ, составленный послѣднимъ элементомъ лопатки BD съ нижнимъ основаніемъ турбины. Изъ этой формулы видно, что  $w = 0$ , если  $u' = v$  и  $\varphi = 0$ , т. е. если послѣдній элементъ лопатки касателенъ къ нижнему основанію турбины. Первое условие можетъ быть удовлетворено надлежащимъ устройствомъ турбины. Второе же условие, какъ и для колеса Понселя, практически невозможно, ибо вода не могла бы тогда выйти изъ турбины. Такимъ образомъ, скорость  $w$  выразится:

$$w^2 = 2v^2(1 - \cos \varphi) = 4v^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} \dots (III)$$

И такъ, скорость выхода воды больше нуля. Это обстоятельство составляетъ единственную существенную причину потери энергіи воды въ турбинѣ Жонваля.

**181. Полевая работа турбины Жонваля.** Единственная существенная потеря энергии въ этой турбинѣ заключается, какъ мы видели, въ живой силѣ, уносимой водою при выходѣ изъ колеса, если не принимать въ расчетъ гидравлическихъ сопротивленій на пути воды отъ верхняго до нижняго уровня, а также тренія на оси.

Поэтому полезная работа турбины выразится  $T_a = \Delta Q H - \Delta Q \frac{w^2}{2g}$  или, на основании формулы (III. 180):

$$T_a = \Delta Q \left\{ H - \frac{4v^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{2g} \right\} \dots \dots (IV)$$

Исключим из этого выражения скорость  $v$  на окружности турбины.

Означимъ буквою  $F$  сумму площадей поперечныхъ сечений (нормальныхъ къ соответствующимъ скоростямъ) вѣхъ канатовъ направляющаго аппарата у пьотка, буквою  $F_1$  такую же сумму на верхней плоскости турбины и буквою  $F_2$ —на нижней ея плоскости. Предполагая движение турбины равномернымъ, а, слѣд., движение цѣлыя, вращающейся на нее воды установившимся, мы должны признать, что объемы воды, протекающие черезъ различные массы турбины въ равныя времена, равны между собою, а потому заключаая, что сжатя нѣтъ, можемъ выписать для расхода  $Q$  выраженіе:

$$Q = Fc = F_1 u = F_2 u'.$$

При дѣленіи этого объема воды въ турбинѣ отъ перваго элемента толкати въ послѣднемъ живая сила ея въ относительномъ движеніи по лопаткамъ измѣняется пзъ  $\frac{\Delta Q}{2g} u^2$  въ  $\frac{\Delta Q}{2g} u'^2$ , слѣд., приращеніе живой силы въ этомъ относительномъ движеніи будетъ  $\frac{\Delta Q}{2g} (u'^2 - u^2)$ . Оно должно быть равно, по закону живыхъ силъ, суммѣ работъ вѣхъ силъ, дѣйствовавшихъ на объемъ  $Q$  въ раз-

считываемомъ относительномъ движеніи въ тотъ же промежутокъ времени. Эти силы суть 1) вѣсъ воды, равный  $\Delta Q$ , 2) гидродинамическое давленіе  $p$  (на сд. площади), дѣйствующее въ сторону движенія въ томъ мѣстѣ, гдѣ вода переходитъ изъ направляющаго аппарата въ каналъ турбины, 3) давленіе  $p'$  снизу, и 4) центриробжная сила въ разсчитываемомъ относительномъ движеніи <sup>1)</sup>.

Работа вѣса  $\Delta Q$  воды, очевидно равна  $\Delta Q b$ , гдѣ  $b$  есть высота турбиннаго колеса. Чтобы опредѣлить работу давленія  $p$ , найдемъ сначала полное давленіе на всю площадь  $F_1$ , оно равно  $P = p\pi (r_2^2 - r_1^2)$ , гдѣ  $r$ , есть наружный радиусъ рабочаго колеса, а  $r_1$ —внутренній. Работа этого давленія будетъ равна  $P s$ , гдѣ  $s$  есть путь, продолженіи въ разсчитываемый промежутокъ времени по направлению движенія, т. е. по нормали къ поперечнымъ сѣченіямъ канатовъ. Такъ какъ разсчитываемый промежутокъ времени соответствуетъ расходу  $Q$ , то онъ равенъ секундѣмъ сѣтѣ, путь  $s$  равенъ произвѣд. скорости и на нормаль къ сѣченію, т. е.  $s = u \sin (180^\circ - \beta) = u \sin \beta$ , потому  $T_p P = p\pi (r_2^2 - r_1^2) u \sin \beta$ , но  $\pi (r_2^2 - r_1^2)$

<sup>1)</sup> Учебникъ механики автора, изд. 3-ье, § 221.

$u \sin \beta$  представляет объемъ воды, втекающей въ одну сек. въ рабочее колесо, т. е.  $\pi(r_2^2 - r_1^2)u \sin \beta = F_1 u = Q$ ; слѣд.,  $T_1 P = pQ$ . Подошмимъ же образомъ найдемъ для работы давления  $p'$  выражение.  $pQ$ . Наконецъ, что касается работы центробѣжной силы въ разсматриваемомъ относительно вращенія, то она равна нулю, такъ какъ можно принять, что при движеніи частицъ воды черезъ колесо ихъ расстоянія отъ осей не измѣняются.

Такимъ образомъ, искомое ур. живыхъ силъ будетъ имѣть видъ

$$\frac{\Delta Q}{2g} \{u'^2 - u^2\} = \Delta Q b + Q(p - p'),$$

или такъ какъ  $p' = p - \Delta \{H - (h + b)\}$  (§ 179), гдѣ  $H$  есть полный напоръ,  $h$ —расстояніе отъ верхняго уровня до верхней плоскости турбины и  $b$  высота ея:

$$\frac{u'^2}{2g} - \frac{u^2}{2g} = \frac{p - p'}{\Delta} + (H - h),$$

или, такъ какъ при условіи наивыгоднѣйшаго дѣйствія турбины,  $u' = v$  (§ 180):

$$v^2 = u^2 + 2g \left\{ \frac{p - p_0}{\Delta} + (H - h) \right\}.$$

Внеся сюда вмѣсто  $u^2$  его величину изъ ур. (I) (§ 180), получимъ:

$$2vc \cos \alpha = c^2 + 2g \left( \frac{p - p_0}{\Delta} + H - h \right).$$

Но по формулѣ Бернулли (§ 112) имѣемъ въ данномъ случаѣ

$$c^2 = 2g \left( h + \frac{p_0 - p}{\Delta} \right)$$

Подставивъ это значеніе для  $c^2$  въ предыдущее ур., получимъ:

$$vc \cos \alpha = gH \dots \dots \dots (V)$$

Раздѣливъ ур. (V) на  $(H, \S 180)$ , найдемъ:

$$c = \sqrt{2gH} \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha \sin(\beta - \alpha)} \dots \dots \dots (a)$$

а перемноживъ ихъ, получимъ

$$v^2 = gH \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha \sin^2 \beta} (1 - \tan^2 \alpha \cot^2 \beta).$$

Внеся эту величину  $v^2$  въ ур. (IV), получимъ для полезной работы турбины Жюльва выражение

$$T_0 = \Delta Q H \left( 1 - \sin^2 \frac{\alpha}{\beta} (1 - \tan \alpha \cot \beta) \right) \dots \dots (62)$$

Изъ этой формулы видно, что полезная работа турбины зависитъ отъ угла  $\alpha$ , уменьшающагося, гдѣ  $\alpha$ , что понятно, такъ какъ съ

уменьшением  $\varphi$  уменьшается и скорость  $w$  (§ 180, III), съ которою вода оставляетъ турбину. Но съ уменьшениемъ угла  $\varphi$  будетъ уменьшаться высота поперечнаго сечения канала турбины, считаемая по нормали къ кривой лопатки; поэтому, во избежание возрастания гидравлическихъ сопротивлений, вследствие сужения поперечнаго сечения канала, полезно увеличивать его ширину, считаемую по радиусу (расширять колесо книзу), какъ это было сделано впервые Фонтаномъ (фиг. 171).

По динамометрическимъ измѣреніямъ турбина Жювеля, работающая при данныхъ тѣхъ условияхъ (при *вполнѣ открытомъ канальцѣ*, т. е. какъ полная турбина безъ регулированія (§ 183), преобразовываетъ 75 % запаса работы воды въ полезную работу; следовательно:

$$T = 0,75 \Delta Q H \text{ к. м. или } N = \frac{0,75 \Delta Q H}{75} \text{ п. л. . . (63)}$$

*Примѣры* 1) Въ Бельгаръ (Швейцарія) для утилизаціи напора Рены поставлены 6 турбинъ Жювеля каждая силою въ 630 п. л. При помощи проволочныхъ канатовъ отъ турбинъ передается различнымъ заводамъ и млинамъ, расположеннымъ въ окрестности 2) въ Кремень-ль (Баварія) поставлена турбина Ж. въ 1200 п. л., діам. 12 фт., для бумаго-прядильной и ткацкой фабрикъ.

**182. Различіе реактивныхъ и активныхъ турбинъ.** Величина абсолютной скорости  $c$ , съ которою вода вытекаетъ изъ направляющихъ канальцевъ, какъ видно изъ формулы (я § 181, замѣчаніе) или отношенія длинны пути  $l$  выражаемаго первымъ элементомъ лопатки турбины съ верхнею ея дугею  $l_1$  къ углу  $\alpha$ , оставшемуся послѣ дуги элемента направляющей лопатки съ того же плеча  $l_1$  (фиг. 172). На самомъ дѣлѣ, такъ какъ  $2(\cos \alpha \sin(\beta - \alpha) = \sin \beta + \sin(\beta - 2\alpha)$ , то

$$\frac{\sin \beta}{2(\cos \alpha \sin(\beta - 2\alpha))} = \frac{1}{1 + \sin(\beta - 2\alpha)} \cdot \text{потому} \quad \sin \beta$$

1 Если уголъ  $\beta > 2\alpha$ , то абсолютная скорость воды  $c < \sqrt{2gh}$ , и  $p > p_0$ , гдѣ  $h$  есть паводъ, считаемый отъ верхняго уровня до верхней плоскости турбины слѣд. вода вытекаетъ изъ направляющихъ канальцевъ со скоростью, меньшей скорости, соответствующей напору  $h$ . Избытокъ напора равный  $\chi = h - \frac{c^2}{2g}$  расходуется на преодоленіе скорости воды при приближеніи ея въ каналы рабочихъ колесъ и служить причиною потерь воды черезъ зазоръ между направляющимъ лопаткомъ и лопаткою.

Такого рода, или такъ называемая скорость воды въ каналахъ турбины измѣняется не только по направленію, но и по величинѣ. Такого рода дѣйствія воды назъ реактивнымъ дѣйствіемъ, а са-



регулированія *защелками* d, при помощи которых производится закрывание частей направляющих каналовъ. Защелки d подвижны въ тягачъ g, который приводится въ движение посредствомъ маховичковъ съ гайками f. Какъ показываетъ теорія и опытъ, этотъ способъ регулированія, превращающій турбину въ парциальную, сопровождается увеличеніемъ потери напора на ударъ воды въ каналахъ турбины, выходящихъ изъ подъ закрытыхъ каналовъ направляющаго аппарата.

Наиболѣе совершенный способъ регулированія г. Жюввали состоитъ въ устройствѣ турбины съ нѣсколькими отдѣльными (какъ на фиг. 172), которая могутъ быть прикрываемы сверху плоскими кольцеобразными щитами (крышками) при этомъ непривычные отдѣленія работаютъ при прежнихъ нормальныхъ условіяхъ.

Что касается регулированія турбины при помощи *выпускныхъ шланговъ* (или водоприемныхъ руселъ) или *выпускныхъ* (фиг. 170), а также *инвертированныхъ клапановъ* (к фиг. 172), то эти способы, по ихъ несовершенству, примѣняютъ только для исключенія избытка работы.

*Примечаніе.* Въ техъ случаяхъ, когда работа машины получающаго движенье отъ турбины требуютъ очень равномернаго хода или когда при очень маломъ числѣ тактовъ происходятъ частые въѣзды и остановки, регулированіе турбины должно быть не отъ руки, а отъ регулятора, механически соединеннаго нпр. ленточ. перемѣнн. регул. привода, и т.п. турбины (у вышекъ или штурмовъ) — относительно приращенію числа оборотовъ.

**184 Главнѣйшіе размѣры турбины Жюввали.** Знаемъ расходъ Q, не трудно найдемъ радиусы вѣнцовъ и внутренней окружности турбины (для этого найдемъ формулу для объема воды, вытекающей изъ сек. изв. направляющаго аппарата). Этотъ объемъ равенъ площади отверстія турбины, умноженной на произвѣд. скорости на радиусъ r, а въ данномъ случаѣ на периметръ. Онъ равенъ  $Q = 2\pi r_2^2 (v_2^2 - v_1^2) \sin \alpha$  гдѣ  $\alpha$  есть коэф. расхода, который можно принять = 0,85.  $r_2$  и  $r_1$  суть вѣнцовый и внутренний радиусы турбины;

отношеніе между ними  $\frac{r_1}{r_2}$  чаще всего дѣлается равнымъ  $\frac{2}{3}$  и только при очень малыхъ расходахъ доходитъ до 1. Уголъ  $\alpha$  обыкновенно дѣлается отъ 15° до 21° (меньше при большихъ напорахъ, уголъ  $\alpha$  въ существующихъ тур-

бинахъ измѣняется отъ 90° до 120° (затѣ.  $r_2 = \sqrt{\frac{Q}{2\pi(1 - (\frac{r_1}{r_2})^2) \sin \alpha}}$

—  $\sqrt{\frac{1,8 Q}{\mu \pi c \sin \alpha}}$ . Высота b колеса турбины дѣлается равной 0,5 r, а высота b направляющаго аппарата равной 0,6 r, гдѣ r есть *радиусъ средней окружности* турбины, равный  $r = \frac{r_1 + r_2}{2}$ .

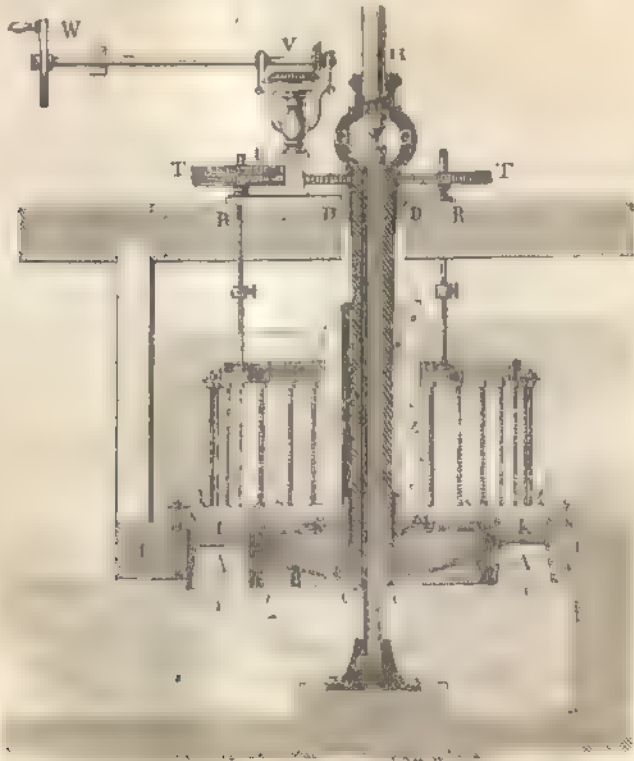
Какъ показали опыты въ Мюльгаузенѣ, наибольшая или *средняя* окружности турбины составляетъ 0,59  $\sqrt{2gH}$ , т.е.  $v = \frac{r_2}{r} 0,59 \sqrt{2gH}$ , а число оборотовъ

и 9548  $\frac{v}{r_2}$ . Число лопатокъ направляющаго аппарата обыкновенно бы-



васть отъ 12 до 16 а число лопатокъ турбины отъ 20 до 24, для толщины металла лопатокъ можно принять  $\frac{1}{40}$  г. Наконечъ уголь  $\varphi$  дѣлать отъ 12 до 18°.

**185. Турбина Фонтэна** (фиг 174) въ 1840 г фр инженеръ Фонтэнъ устроилъ осевую турбину, въ которой впервые былъ примененъ принципъ расширения лопатокъ съ цѣлю повышения ея полезнаго дѣйствія (§ 181). Турбина устанавливается не внутри трубы, сообщающей верхній и нижній резервуары (каналъ Жюмвала), а непосредственно надъ нижнимъ уровнемъ, который касается колеса или даже нѣсколько поднимаетъ его.



Фиг. 174

Вода изъ верхняго резервуара проходитъ черезъ неподвижный направляющій аппаратъ КК, состоящій изъ двухъ чугунныхъ ободцевъ, между которыми помещены кривыя лопатки, отлитыя заодно съ ободцами, и вступаетъ безъ удара въ кривые каналы, сформированные лопатками турбины АА. Последняя состоитъ также

изъ двухъ (слегка коническихъ) ободьевъ, отлитыхъ заодно съ лопатками (исходясь по лопаткамъ, вода давлениемъ своимъ на нихъ заставляетъ турбину вращаться. Вращение турбины принимается чугунами трубочатымъ валомъ СС', соединеннымъ съ турбиною при помощи чугуннаго пагона ВВ, который съ одной стороны скрѣпленъ болтами съ внутреннимъ ободомъ турбины, а съ другою заклиненъ на оси С. Внутри вала СС' свободно проходитъ вертикальный стержень SE, прочно установленный на дне нижняго резервуара и остающійся все время неподвижнымъ. На этомъ стержнѣ подвѣшена турбина при помощи слѣдующаго приспособленія. Трубочатая ось С скрѣплена съ валомъ Н, служащимъ ей продолженіемъ и снабженнымъ на нижнемъ концѣ *сильною пятою* S. Эта пята упирается въ углубленіе, сдѣланное въ головкѣ F стержня EF, который такимъ образомъ играетъ роль подпятника для вала турбины. Вѣдѣтые такого приспособленія облагается осмотръ и смазка пяты, которая всегда находится надъ водою. Направляющій аппаратъ КК' укрѣпляется отдѣльно отъ турбины: отъ привинчивается къ болтамъ L. Къ внутреннему ободу аппарата прикрѣплены болтами сплошной чугуниной дискъ, имѣющій въ серединѣ втулку, которая вмѣстѣ съ втулкою D, укрѣпленною на балкѣ R, служатъ подпираниями для трубочатой оси С. Наконецъ труба ZZ', окружающая ось С, служитъ для закрѣпленія ея отъ воды. Регулированіе притока воды совершается помощью щита, состоящаго изъ ряда задвижекъ d, d' (фиг. 175), помѣщенныхъ въ промежуткахъ между лопатками направляющаго аппарата. Задвижки эти снабжены закрученными (рессорными) потужками и прирѣдлены помощью вертикальныхъ стержней въ желѣзному колычу а, а, которое поднимается и опускается при помощи трехъ стержней R R', концы которыхъ, снабженные нарыжкомъ, проходятъ во втулкахъ трехъ одинаковыхъ колесъ T, служащихъ имъ гайками. Окружности всѣхъ колесъ охватены безконечною цѣпью, которая передаетъ одновременно всѣмъ колесамъ вращеніе, полученное отъ рукоятки W и зубчатаго привода UV<sup>1)</sup>).

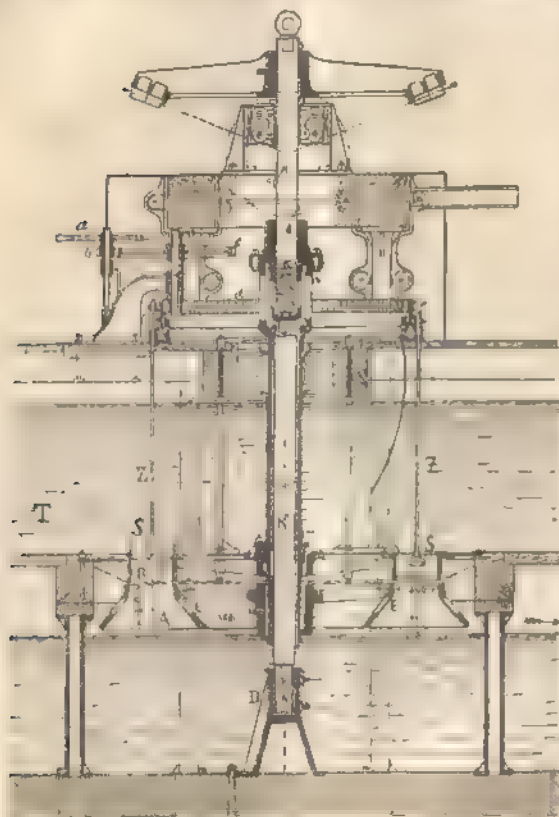


Фиг. 175.

<sup>1)</sup> Такой способъ регулированія количества воды притекающей къ турбинѣ, имѣетъ тѣ же недостатки, какъ и регулированіе въ турбинѣ Ж-н-валя, а именно по мѣрѣ пониженія щита не только уменьшается площадь выходящихъ отверстій направляющаго аппарата, но вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняется и форма капаловъ этого щита, отчего измѣняется и направленіе скорости с. При значительномъ пониженіи щита является значительное сжатіе

Опытъ, произведенный *Мореномъ*, показалъ, что при самыхъ различныхъ условияхъ турбина Фонтана передаетъ до 63% работы воды.

**186 Турбина Жирара.** Эта турбина есть первая по времени появленія (1851 г.) *чисто активная турбина*. На фиг. 176



Фиг. 176.

представлена турбина Жирара *низкого давления* (для напоровъ  $< 4$  м.). Она имѣетъ направляющій аппаратъ В, въ который вода поступаетъ прямо изъ ларя Т. Собственно турбина А (рабочее колесо) заклинена на чугунномъ трубчатомъ валу, подвѣшенномъ на стойкѣ К при помощи фокарной паты С (фиг. 171).

Каналы рабочего колеса дѣлаются всегда расширяющимися книзу (фиг. 176); нижняя ширина дѣлается отъ 2 до 3 разъ больше верхней. Въ виду такого устройства каналовъ, а также по той причинѣ, что

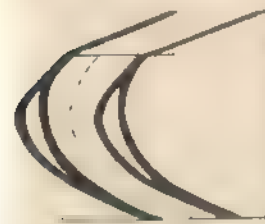
струи, вытекающей изъ канала колеса, которое не прекращается и внутри канала турбины, поэтому въ турбинѣ Фонтана, при указанномъ способѣ регулировки, какъ и въ турбинѣ Жирара, вода можетъ не заполнить каналовъ турбины. Для избѣжанія этихъ недостатковъ Фонтанъ предложилъ устроить въѣздъ регулировки нитомъ — *регулирующие кантики*, на которые навиты кожанные ленты, концы которыхъ приклепаны къ направляющему валу. При помощи особаго механизма можно катить эти кантики по кантикамъ, тогда они имеютъ направляющаго аппарата въ ту или другую сторону, при чемъ лента будетъ сдвигаться или накатываться на нихъ и такимъ образомъ закрывать большее или меньшее число каналовъ направляющаго аппарата.

уголъ  $\beta$  дѣлается не больше  $2\alpha$  (§ 182) и потому поперечный (нормальный) размѣръ  $b$  (фиг. 177) каналовъ, сначала *увеличивается* на небольшой длинѣ канала, но затѣмъ *до конца уменьшается*,



Фиг. 177.

возда не заполняетъ каналы—струя отстаетъ отъ правыхъ стѣнокъ. Для обезпеченія правильного протока воды въ боковыхъ стѣнкахъ каналовъ дѣлаются отверстія Е (окна) для свободнаго притока воздуха, что въ особенности важно въ тѣхъ случаяхъ, когда *вслѣдствіе регулированія часть каналовъ закрыта*, такъ какъ подобною *вентиляціею* устраняется возможность образования, вслѣдствіе всасывающаго дѣйствія расширяющихся каналовъ (§ 110), пустоты, вліяніемъ которой вода задерживалась бы въ каналахъ и происходить бы ударъ свѣжей струи объ отработавшую воду.



Фиг. 178.

Изъ сказаннаго ясно, что турбина Жирара не можетъ хорошо работать *подъ водою*, вслѣдствіе неизбежнаго заполнения воздушнаго пространства каналовъ нижней (*мертвюю*) водою. Поэтому турбины Жирара ставятъ всегда *нѣсколько выше нижняго уровня*. Для устранения этого недостатка Гунгль предложилъ въ 1858 г. дѣлать *двойныя лопатки* (фиг. 178), имѣющія назначеніе ограничить водяныя струи въ каналахъ рабочаго колеса.

Въ турбинахъ *высокаго давленія* вода подводится къ направляющему аппарату при помощи трубы, подобно тому какъ въ турбинѣ Жонваля.

**187. Регулированіе турбины Жирара.** Въ турбинѣ, изображенной на фиг. 176, регулированіе производится при помощи задвижекъ  $ss$ , подвижныхъ къ вертикальнымъ тягамъ  $zz$ . Последнія получаютъ поступательное движеніе вверхъ или внизъ, при по-

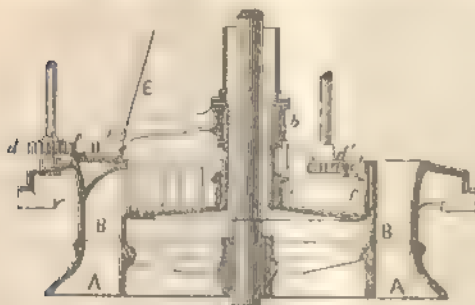


Фиг. 179.

средствію кулачковъ  $O$  (фиг. 179), отъ зубчатаго вѣнца  $d$  (съ винтренимъ зацепленіемъ), обода котораго снабженъ желобками  $n$ , за-

хватывающими кулачки  $\delta$ ). Ролики  $m$  служат для направлениа вращательнаго движениа зубчатого вѣйна  $d$ , которое ему сообщается, при помощи шестерни  $e$  и колеса  $c$ , сѣвляющагося съ шестернею  $b$ , отъ ручнаго маховичка  $a$ .

Въ настоящее время, съобщимъ примѣненіемъ активнаго принципа, доводу распространяется регулировка *крутыми щитами*, какъ настоящее совершенное. На фиг. 180 представленъ способъ регулированія посредствомъ круглаго щита (ЩС), состоящаго изъ двухъ неодинаковыхъ по виду половинъ: *плоской* D и *цилиндрической* E. Соответственню такому устройству щита, одна половина отверстій направляющаго аппарата B (правая) лежитъ въ горизонтальной плоскости, а другая (лѣвая) на цилиндрической поверхности.



Фиг. 180.

Приложеніями къ щитамъ C и D. При этомъ щиты начнутъ прикрывать каналы направляющаго аппарата въ диаметрально противоположномъ порядкѣ, что необходимо въ виду устранения односторонняго дѣйствія воды на лопатки рабочаго колеса. Тяги F служатъ для надежной установки щита на направляющемъ аппаратѣ, позволяя дѣлать самый незначительный зазоръ между щитомъ и направляющимъ колесомъ, съ цѣлью устранения тренія между ними.

**188. Полезная работа турбины Жирара.** Такъ какъ турбины Жирара допускаютъ весьма совершенное регулированіе, то они ставятся преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется *переменное количество воды при постоянномъ напорѣ*, слѣд. при неизмѣняющъ нижнемъ уровнѣ, если же этотъ уровень значительно мѣняется, то ставится турбина съ двойными лопатками (Гесслеръ, § 186) Турбины Жирара даютъ *теоретически* полезное дѣйствіе, будешь-ли турбина *полная или съ регулированиемъ* (т. е. работаетъ какъ частичная). Коэффициентъ полезнаго дѣйствія этихъ турбинъ можно считать отъ 0,70 до 0,80, слѣд., полезная работа ихъ будетъ (въ среднемъ):

$$T, — 0,75 \Delta Q H \text{ к. м., или } N — \frac{0,75 \Delta Q H}{75} \text{ л. с.} \quad (61)$$

**189. Главнейшие размеры турбины Жирара.** По данному числу паров лоп. и напору определять сначала расход  $Q$ . Затем по формулѣ:  $Q = \frac{P}{(r_2^2 - r_1^2) \sin \alpha}$ , гдѣ, какъ и для турбины Ионвала, коэфф. расхода  $\rho$  можно взять — 0,85, а  $c = \frac{1}{2gH}$ , и по эмпирической формулѣ, данной Мейснеромъ, для средней скорости течения (§ 184):  $g = \text{отъ } 3,15 \text{ до } 2\sqrt{\frac{Q}{0,85}} \frac{1}{2gH}$

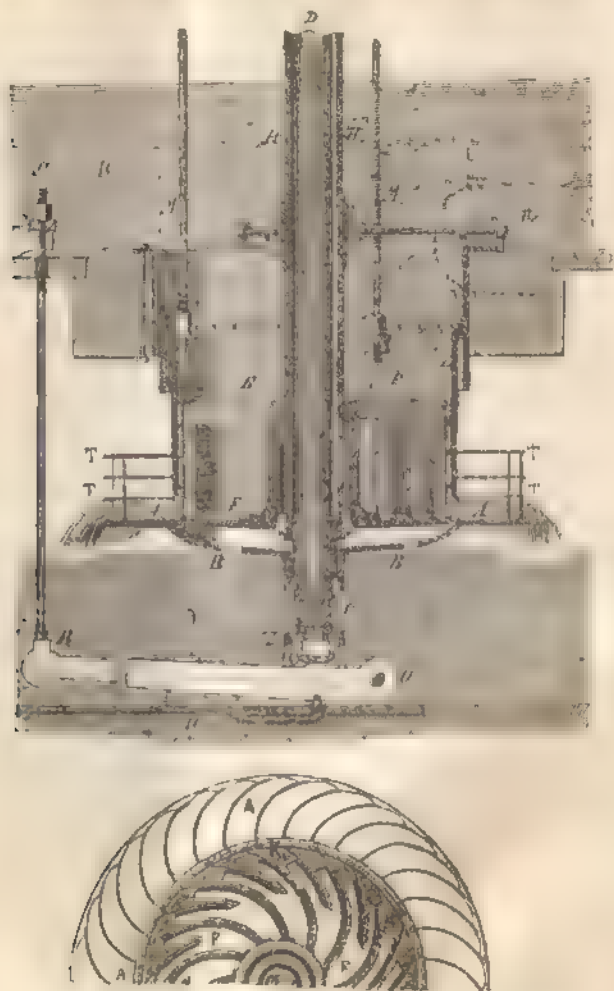
(тѣмъ меньше, чѣмъ больше расходъ и чѣмъ меньше напоръ), определяют радиусы  $r_2$  и  $r_1$  вѣнцевъ и внутренней окружности турбины. Ширина лопатокъ турбины внизу дѣлается отъ 2 до 3 разъ больше ширины ихъ сверху. Высота рабочаго колеса дѣлается равною ширинѣ его вверху, а высота направляющаго аппарата равною 0,7 высоты рабочаго колеса. Число лопатокъ рабочаго колеса для средняго диаметра до 1 м дѣлается 36, причемъ на каждый дополнительный дециметръ прибавить по одной лопаткѣ. Число лопатокъ направляющаго аппарата дѣлается равнымъ  $\frac{1}{3}$  до 1. Уголъ  $\gamma$  направляющихъ лопатокъ дѣлается отъ  $15^\circ$  до  $50^\circ$  (тѣмъ меньше, чѣмъ меньше расходъ  $Q$ ). Наконецъ уголъ  $\beta = 2\alpha$ , а уголъ  $\delta$  определяется въ зависимости отъ степени расширенія капазона (тѣмъ меньше, чѣмъ болѣе расширеній, въ предѣлахъ отъ  $15^\circ$  до  $28^\circ$ ).

## 2. ПОЛНЫЯ РАДИАЛЬНЫЯ ТУРБИНЫ.

**190. Турбина Фурнейрона.** Турбина Фурнейрона есть первая по времени изобрѣтенная (§ 184 г) *радиально-касательная турбина*. На фиг. 181 представлена турбина Фурнейрона низкаго давления. В.В. есть чугунная тарелка или поддонъ турбины, прикрепленный къ вертикальному валу СД, и закраинахъ этого поддона укрѣплены крышныя лопатки АА, перекрывающія сверху желѣзнымъ кольцомъ ободами обоими и образующия собою совокупность собственно *турбины* — приемникъ, падающаго колеса Ионвале, расположенное горизонтально. Промежуточные обода ЕЕ, раздѣляютъ турбину на отдѣленія или яруса. Ватъ турбины заключены внутри трубы НН, нижняя часть которой снабжена закраиною РР, на этой закраинѣ укрѣплены неподвижныя крышныя лопатки, образующія вмѣстѣ съ этою закраиною *направляющій аппаратъ* турбины. Вода изъ бѣзды W поступаетъ въ цитингическій чугунный резервуаръ ББ, протекаетъ между неподвижными лопатками направляющаго аппарата и затѣмъ вступаетъ въ турбину, двигается между ея лопатками, и выходитъ на внешней ея окружности. При этомъ вслѣдствіе давленія, производимаго потокомъ на вогнутыя перья турбины эта послѣдняя получаетъ вращательное движеніе, причемъ направляющій аппаратъ РР, является неподвижнымъ. Труба НН съ своею тарелкою ЕЕ и вращенными на ней направляющими лопатками, исполняя роль направляющаго аппарата, приноситъ и третью пользу: она поддерживаетъ столбъ воды, стоящій надъ турбиною и вслѣдствіе этого значительно уменьшаетъ давленіе паты на подпятникъ, а, слѣд., и треніе паты турбины.



Для управленія притокомъ воды, поступающей въ турбину изъ направляющаго аппарата служитъ *щитъ* К.К.К., имѣющей цилиндрическую форму. Опуская щитъ, можно совершенно прекратить доступъ воды къ турбинѣ, на фигурѣ щитъ представленъ припод-



Фиг. 181.

нятымъ до высоты перваго яруса турбины. Внутри этого щита прикрѣплены деревянные бруски или *подпики* К.К. съ закругленными краями; бруски эти плотно прилегаютъ къ лопаткамъ направляющаго аппарата, помѣщаясь въ промежуткахъ между ними.



Что касается величины угловъ  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\varphi$ , то эти послѣдніе дѣлаются такіе же какъ и въ турбинѣ Ноната.

Какъ было замѣчено самимъ Фурнейрономъ и какъ доказали опыты Морена (1838 г.) турбина работаетъ *наимыгоднѣйшимъ* образомъ при вполнѣ поднятомъ щитѣ. При регулировании дѣйствій турбины щитомъ пронеходять суженіе каналовъ турбины, влекущее за собою потерю живой силы вследствие чего полезное дѣйствіе турбины понижается. Для устранения этого обстоятельства Фурнейровъ предложилъ устраивать турбины съ тремя *ярусами*, такъ чтобы высота каждаго яруса составляла только  $\frac{1}{3}$  полной высоты всего колеса. Новѣйшо, что при такомъ приспособленіи турбина можетъ работать правильно при трехъ положеніяхъ щита, а именно. 1) *когда весь щитъ открытъ*, 2) *когда 2 яруса открыты* и 3) *когда открытъ одинъ нижній ярусъ*. Такое подраздѣленіе на ярусы оказывается однако весьма хлѣбнымъ только для турбинъ, вращающихся въ воздухѣ, но для турбинъ затопленных оно приноситъ мало пользы, потому что во внутрь каналовъ находящихся ярусовъ входитъ вода изъ нижняго резервуара и своимъ весомъ увеличиваетъ давленіе на щитъ<sup>1)</sup>.

Опыты показали, что *при наимыгоднѣйшихъ обстоятельствахъ* турбина Фурнейрова преобразовываетъ въ полезную работу 0,70 запаса работы воды, т. е.:

$$T_0 = 0,70 \Delta QH \text{ к. м., или } N = \frac{0,70 \Delta QH}{75} \text{ л. с. . . (65)}$$

**192 Главнѣйшіе размѣры турбины Фурнейрона.** Турбина Фурнейрона можетъ быть установлена для всякихъ напоровъ, отъ самыхъ малыхъ до самыхъ большихъ. По данному числу паровыхъ лошадей и напору опредѣляютъ прежде всего расходъ  $Q$ . Затѣмъ находятъ радиусъ  $r_0$  щитового цилиндра, принимая (по Редтенбахеру), что скорость въ цилиндрѣ должна быть равна 1,11 м., изъ формулы:  $\pi r_0^2 1,11 = Q$ , откуда  $r_0 = 0,538 \sqrt{Q}$  м. Внутренній радиусъ турбины  $r$  принимается равнымъ  $r_0 + 0,03$  м. или въ виду необходимости зазора для щита,  $r = 0,538 \sqrt{Q} + 0,03$  м. Изъ сравненія размѣровъ многихъ существующихъ турбинъ найдены слѣдующіе отно-

<sup>1)</sup> Съ дѣлю устранить вредное вліяніе воды, входящей внутрь турбины, Эйзаръ предлагалъ помѣщать турбину внутри желѣзнаго водолазнаго колпака, въ который накачивается воздухъ насосомъ, приводимымъ въ движеніе самою турбиною. Воздухъ своимъ давленіемъ не дозволитъ водѣ нижняго резервуара затоплять турбину, такимъ способомъ устраняется важнѣйшій недостатокъ затопленной турбины. Чтобы возможно болѣе затруднить сообщеніе воздуха, заключеннаго подъ колоколомъ, съ паружною атмосферой, валъ турбины и подвѣсныя тяги щита пропускаются сквозь сальники, устроенные въ крышкѣ колокола. Это приспособленіе имѣетъ названіе *субро-мембранизаціи*. Какъ показали опыты, работа, затрачиваемая на движеніе насоса, накачивающаго воздухъ подъ колоколъ, съ избыткомъ вознаграждается увеличеніемъ полезнаго дѣйствія турбины.

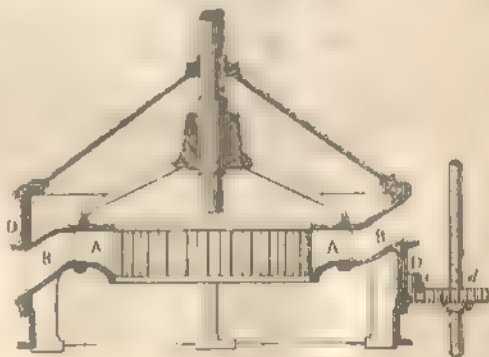
нения:  $\frac{r}{r} = 1,33$  и  $\frac{m}{m} = 1,33$ , где  $m$  и  $m$  суть числа лопаток направляющего аппарата и турбины, а  $r$  есть наружный радиус турбины.

Отношение площади впускных каналов к площади  $\pi r^2$  дается равным 0,2, т. е.:  $\frac{2\pi r b \sin \alpha}{\pi r^2} = 0,2$ , откуда  $b = 0,1 \frac{r}{\sin \alpha}$  (α от 24 до 30° при β=90° и от 30° до 35° при β=120°). Как показывает опыт, наилучшая скорость на внутренней окружности турбины составляет:  $v = 0,55 \sqrt{2gH}$ , тогда скорость на внешней окружности будет:  $v = 1,33v$ . Зная  $v$ , найдем наилучшее число оборотов в минуту по формуле:

$2\pi n = 60v$ , откуда  $n = 9,518 \frac{v}{r}$ . Число направляющих лопаток дается по Фурнейеру, от 24 до 30, а толщина — от 3 до 10 мм, смотря по величине диаметра. Наконец, очертание лопаток направляющего аппарата дается по дугам круга, радиус которого равен 0,5г, а лопатки турбины по дугам круга, радиус которого определяется по условию, чтобы дуга эта составляла требуемые углы β и φ, последний угол дается от 15 до 20°.

**193. Турбина Жюара.** Принцип активного действия воды применяется как для осевых, так и для радиальных турбин. На фиг. 181 изображена радиальная турбина Жюара с *внешним подводом* рабочей воды.

Вода вступает *снаружи* в направляющий аппарат В, из которого идет в турбину А и выливается во внутреннее пространство. Регулирующий щит DD состоит из двух полуцилиндрических колец, прочно соединенных между собою и получающих одновременное движение от шестерни d и зубчатого венца e. Фиг. 183 представляет тип так наз. *американских* турбин, которые почти всегда устриваются с *наружным* питанием.



Фиг. 183.

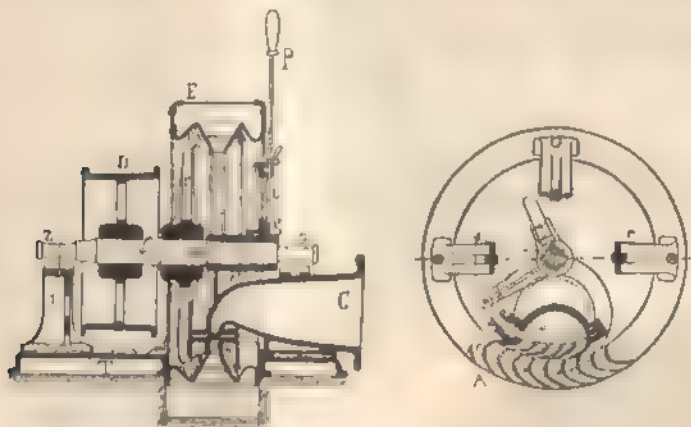
В радиальных турбинах Жюара с *внутренним подводом* вода, подобно тому как в турбинах Фурнейера, вступает в рабочее колесо изнутри.

Коэффициент полезного действия этих турбин можно принимать равным от 0,70 до 0,80.

## 2. ПАРЦИАЛЬНЫЕ ТЮРБИНЫ.

**194. Парциальные турбины.** въ которыхъ вода дѣйствуетъ не на все лопатки сразу, а только на нѣсколько, ставятся при *большомъ напорѣ и незначительномъ расходѣ* воды. Для такихъ напоровъ наливное колесо, дающее въ другихъ случаяхъ наилучшіе результаты, вышло бы слишкомъ огромнымъ, а полныя турбины, имѣя (по причинѣ большого напора) на своей окружности значительную скорость и въ тоже время небольшой радиусъ (вслѣдствіе малости расхода), дѣляли бы слишкомъ большое число оборотовъ въ минуту  $\left\{ n = \frac{60v}{\pi d} \right\}$ , что затруднило бы передачу движенія исполнителному механизму, если этотъ послѣдній не допускаетъ большой скорости.

**195. Турбина Жирара** (фиг. 184). Эта турбина имѣетъ горизонтальную ось W, одинъ подшипникъ которой установленъ на

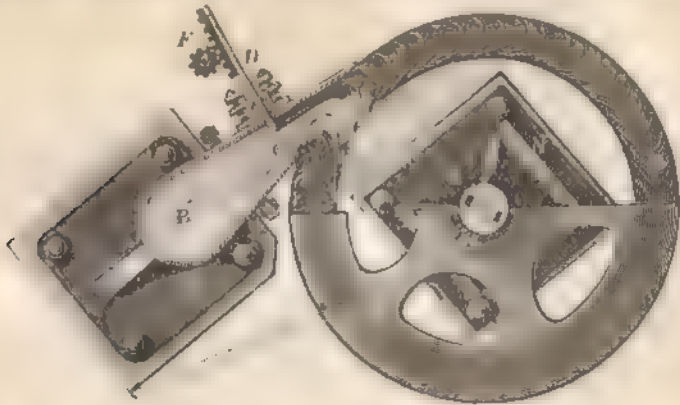


Фиг. 184.

подшипводной трубѣ С, укрѣпленной болтами на фундаментной рамѣ Т, а другой—на стойкѣ I, привинченной къ той же рамѣ. А есть рабочее колесо, В—направляющій аппаратъ, D—передаточный шестъ, E—железный кожухъ, предупреждающій разбрызгиваніе воды. Вода подводится внутри шестю направляющими каналами. Регулирующій приборъ состоитъ изъ дугообразной задвижки S, которая приводится въ движеніе отъ руки при помощи кочка таго рычага РI., снабженнаго установочнымъ механизмомъ (для закрѣпленія рычага въ данномъ положеніи). Вентиляция происходитъ черезъ зазоръ. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія этихъ турбинъ можно считать=0,7.

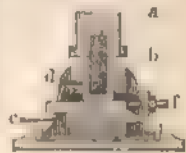
*Примѣръ.* Среди множества построенныхъ турбинъ по типу фиг. 184, существуютъ такія, которыя при  $H = 40$  м. и  $Q = 8$  литръ въ сек. даютъ  $2\frac{1}{2}$  л.с., при числѣ оборотовъ 1400 въ мин. (турбины для мелкой промышленности), а при  $H = 120$  м. и  $Q = 175$  литръ въ сек. даютъ 150 л.с. при числѣ оборотовъ 250 въ мин.<sup>1)</sup>

**196. Турбина Цуплингера** (фиг. 185). Въ этой турбинѣ, первая идея которой была предложена Нювеге еще въ 1826 г., вода подводится *снизу* при помощи трубы В почти по касательной



Фиг. 185.

къ окружности турбины FF и потому она наз. *касательной* турбиною. Въ концѣ подводной трубы установлены перегородки С, образующія три канала, предназначенные для надлежащаго направления воды въ турбину. При помощи задвижки D, приводимой въ движеніе посредствомъ механизма шестерни и рычага, можно закрыть одинъ, два или все три направляющіе канала и такимъ способомъ регулировать или совсемъ прекратить притокъ воды къ турбинѣ. Къ верхнему ободу турбины прикреплена чугунная тарелка GG, втулка H которой заклинена на вертикальномъ валу, принимающемъ вращеніе турбины. Валъ этотъ прочно устанавливая стальную втулку въ подшипникъ N, представленномъ отчасти на фиг. 186.



Фиг. 186.

Опыты, произведенные надъ турбинами Цуплингера, показали, что полезная работа ихъ составляетъ среднимъ числомъ 0,65 запаса работы воды, т. е.:

$$T_u = 0,65 \Delta QH. \dots \dots (66)$$

*Примѣръ.* Турбина, представленная на фиг. 185 (въ  $\frac{1}{4}$  пат. вел.), построена при расходе 0,2 куб. метр (7,06 куб. фут.) и напорѣ въ 6,17 метр (20, 24 фут.). она дѣлаетъ 65 обор. въ мин. для нея  $\eta = 0,72$ .

<sup>1)</sup> G. Meissner, Theorie und Bau der Turbinen und Wasserräder, 1876 1882 г.



**197 Выборъ гидравлическаго приемника: сравненіе гидравлическихъ колесъ съ турбинами** Выборъ гидравлическаго приемника обуславливается главнымъ образомъ существующимъ *напоромъ* воды, ибо гидравлическіе колеса при напорахъ болѣе 12 м. не устанавливаются, такъ какъ величина ихъ вращающихъ силъ была бы слишкомъ значительна, между тѣмъ какъ турбины пригодны для великаго напора. По отношенію къ *расходу* воды турбины не представляютъ существенной разницы отъ колесъ: онъ, не смотря на сравнительно малые размеры, расходуется такъ и колеса, большое количество воды; во *измѣняемости расхода* во время дѣйствія приемника обнаруживается вообще вредное влияние на полезную работу турбины, между тѣмъ какъ на коэфф. полезнаго дѣйствія колесъ она почти никакого влияния не имѣетъ, влияние же *измѣляемости напора* на коэффиціентъ полезнаго дѣйствія турбинъ и колесъ обратное предыдущему. По отношенію къ *запираемому мѣсту*, турбины имѣютъ преимущество передъ колесами, такъ какъ требуютъ сравнительно весьма немногаго мѣста и при томъ тѣмъ менше, чѣмъ болѣе напоръ; между тѣмъ какъ размеры колесъ растутъ съ увеличеніемъ напора. Изъ тѣхъ случаевъ, когда вселенительныя механизмы требуютъ большой скорости вращенія турбины имѣютъ преимущество, ибо механич. ходящее гидравлическое колесо потребовало бы устройства сложной передачи.

При касаніи сравнительныхъ достоинствъ *активныхъ* и *реактивныхъ* турбинъ, то въ дѣлѣ удобности подчиненности практическому регулированію, дающаю возможность легко приспособлять турбину въ различныхъ расходахъ, а также строить турбину въ *запасъ* (т. е. рассчитывать ее на большее число пар.), полезныя требуютъ въ тѣхъ же мѣстахъ, активныя турбины являются преимущественно передъ реактивными. Но здѣсь имѣется въ распоряженіи *постоянный напоръ* и *расходъ*, а требуемая отъ турбины работа тоже не измѣняется, тамъ *реактивная* и *безъ всякаго регулированія* представляетъ *примѣнитель* и *наиболѣе простой* аппаратъ. Тогда, также при *постоянномъ* *расходѣ* воды и *переменномъ* *напорѣ* *просто* имѣетъ преимущество работу, требуемую отъ турбины, реактивная турбина съ регулируемымъ *напоръ* створнаго шлюза или обратнаго клапана представляетъ *напоръ* *дедальный* и *цѣлесообразный* двигатель.

Когда сдѣлать выборъ приемника, то по его коэфф. и полезнаго дѣйствія и по длинному мѣсту работы воды, можно будетъ опредѣлять число паровыхъ лошадей полезнаго дѣйствія приемника. Сообразно съ этимъ можно будетъ опредѣлить число и размеры вспомогательныхъ механизмовъ, которыми приемникъ долженъ совершать полезную работу. Въ слѣдующемъ таблицѣ составленной *Висбейеръ* приведены приведенныя величины напора, расхода и коэфф. полезнаго дѣйствія для главныхъ гидравлическихъ приемниковъ съ вращательнымъ движениемъ.

Родъ приемника.	Напоръ H въ метрахъ.	Расходъ Q въ куб. м	Коэфф. п. д. μ.
Висячія колеса . . . . .	0,1 — 0,3	0,80 — 3,70	0,20 — 0,30
Полувѣнные колеса съ круговымъ русломъ . . . . .	0,3 — 1,0	0,24 — 3,70	0,30 — 0,40
Колеса Пошеле . . . . .	0,6 — 2,0	0,12 — 3,70	0,55 — 0,65
Боковые колеса съ штов. окномъ . . . . .	1,0 — 2,0	0,12 — 2,40	0,40 — 0,75
„ „ съ подосадами . . . . .	1,5 — 3,0	0,12 — 2,00	0,65 — 0,70
Среднепадные колеса . . . . .	3,0 — 9,0	0,09 — 0,75	0,60 — 0,75
Верхнепадные колеса . . . . .	2,0 — 5,0	0,07 — 0,37	0,50 — 0,60
„ „ „ . . . . .	5,0 — 7,5	0,06 — 0,60	0,61 — 0,75
„ „ „ . . . . .	7,5 — 12,5	0,05 — 0,50	0,70 — 0,80
Полныя турбины . . . . .	3,0 — 20,0	0,008 — 3,70	0,60 — 0,80
Парціальныя турбины . . . . .	6,0 — 60,0	0,004 — 1,20	0,50 — 0,65

### 198. Назначение и общее устройство водостолбовых машин.

*Водостолбовые машины* находят обширное применение для утилизации больших напоров при малом расходе *въ горномъ стѣль*— для выкачивания воды или раскочевъ изъ рудныхъ, причемъ соединение мотора съ исполнительнымъ механизмомъ (насосомъ) совершается непосредственно, безъ помощи какихъ либо приводовъ (машинъ прямого дѣйствія), и *въ болѣе мѣлкихъ горбахъ*, обладающихъ подпоромъ—какъ *потѣмными* *машинами* (въ бѣгахъ, отсѣгахъ, тамбонахъ и т. п.) или какъ *машины-двигатели* для мелкой промышленности.

Главнѣйшія части каждой водостолбовой машины суть: *напорный бакъ* А (фиг. 187), изъ котораго вода поднимается помощью *напорной* трубы АІ, и *рабочій цилиндръ* С. Въ цилиндрѣ заключенъ *поршень* D, принимающій давленіе воды и передающій движеніе при помощи штока Е исполнительному механизму. Отрабатанная вода помощью *спускной* трубы F выводится изъ цилиндра въ нижній резервуаръ. Кроме этихъ частей въ каждой водостолбовой машинѣ имѣется *распределительный механизмъ*, служащій для прекращенія или возобновленія притока воды по напорной трубѣ къ рабочему поршню въ моменты, соответствующіе верхнему и нижнему положенію послѣдняго.



Фиг. 187.

Водостолбовыя машины бываютъ *простыми* и *двойными* дѣйствія. Въ первыхъ вода дѣйствуетъ только при движеніи поршня вверхъ, нисходящее же движеніе происходитъ отъ дѣйствія вѣса поршня и штока. Въ машинахъ же двойнаго дѣйствія и восходящее и нисходящее движенія поршня производятся давленіемъ на него воды.

Употребительнѣе устройство распределительнаго прибора *горныхъ водостолбовыхъ машинъ простого дѣйствія* показано на фиг. 187. Онъ состоитъ изъ двухъ поршней K и L, заключенныхъ въ распределительномъ цилиндрѣ KL и соединенныхъ однимъ стержнемъ. При потопленіи поршней K и L, указаннымъ на чертежѣ, вода изъ нижняго резервуара А входитъ по напорной трубѣ АІ и соединительному каналу В къ рабочему цилиндру подъ поршень С и своимъ давленіемъ заставляетъ его двигаться вверхъ. Когда поршень придетъ въ самое верхнее положеніе, то для произведенія обратнаго движенія его нужно только распределительный механизмъ перевести въ его верхнее положеніе, вѣдствие чего движеніе воды въ напорной трубѣ АІ прекратится, вода, находящаяся подъ поршнемъ С, уйдетъ по трубѣ D въ нижній резервуаръ и поршень опустится. Хотя распределение воды могло бы совершаться и безъ помощи поршня L, однимъ поршнемъ K, который поэтому и наз. *распределительнымъ*, но существованіе поршня L

полезно въ томъ отношеніи, что давленіе дѣйствующей воды на поршень К сверху уравнивается такимъ же давленіемъ на поршень Л снизу, отчего значительно облегчается передвиженіе распределительнаго механизма. На этомъ основаніи поршень Л наз. *уравнительнымъ*.

Въ машинахъ *двойнаго дѣйствія* (фиг. 188) распределительная труба соединена какъ съ нижнею частью рабочаго цилиндра (каналомъ В), такъ и съ верхнею (каналомъ С), и кромѣ того верхній ея конецъ сообщается съ отводящею трубою D при помощи соединительной трубы ЕЕ. При положеніи поршней К и Л, показанномъ на фиг., вода давитъ на нижнюю плоскость поршня F и заставляеть его подниматься, вода же, находящаяся надъ поршнемъ, выталкивается этимъ послѣднимъ черезъ каналъ С и соединительную трубу ЕЕ въ отводную трубу D, а изъ нея въ нижній резервуаръ. Перемѣстивъ распределительный механизмъ, когда поршень придетъ въ верхнюю мертвую точку, въ положеніе К'Л', показанное на чертежѣ пунктиромъ, заставимъ дѣйствующую воду давить на рабочей поршень сверху, отчего послѣдній пойдетъ внизъ и т. д. Поршень К необходимъ здѣсь не только для уравниванія давленія на поршень Л, но является самъ распределительнымъ поршнемъ для канала С.

Фиг. 188.

на рабочей поршень сверху, отчего послѣдній пойдетъ внизъ и т. д. Поршень К необходимъ здѣсь не только для уравниванія давленія на поршень Л, но является самъ распределительнымъ поршнемъ для канала С.

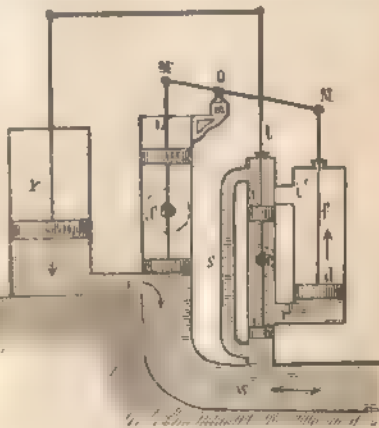
*Примѣчаніе.* Кромѣ распределенія воды поршнями существуетъ распределеніе помощью клапановъ и крановъ, дѣйствіе которыхъ ничѣмъ существенно не отличается отъ разсмотрѣннаго выше распределенія поршнями.

**199 Вспомогательные распределительные механизмы; вспомогательная водостолбовая машина.** Въ водостолбовыхъ машинахъ распределительный механизмъ долженъ открывать и закрывать пролеты для воды только въ тѣ моменты, когда рабочей поршень приходитъ въ свои мертвыя точки, потому что если бы, напр., всасывной каналъ былъ открытъ прежде, нежели рабочей поршень успѣлъ совершить свой ходъ, то притекая къ поршню вода, будучи несжимаемымъ тѣломъ, или произвела бы паденіе поршня, или же заставила бы его двигаться обратно, не окончивъ полного хода. Это обстоятельство усложняетъ устройство самодѣйствующаго распределительнаго механизма, ибо для этого недостаточно только соединить извѣстнымъ образомъ распределительный механизмъ со штокомъ рабочаго поршня. Дѣйствительно, при концѣ своего хода, напр. къ верхней мертвой точкѣ, рабочей поршень С долженъ, для возможности обратнаго движенія, передвинуть распределительный механизмъ изъ нижняго положенія въ верхнее. При этомъ пере-

движеніи распределительнаго прибора будет мгновеніе, когда онъ займетъ среднее положеніе  $K_0I_0$  (фиг. 187), при которомъ действующая вода разобьется съ рабочимъ цилиндромъ. Съ этого момента вода подъ поршнемъ перестанетъ двигаться и не будетъ уже производить никакого давления на него, вследствие чего движеніе поршня сейчасъ же прекратится, а вылетъ съ нимъ и распределительный механизмъ остановится въ положеніи  $I_0K_0$ . Это обстоятельство, будучи причиной мгновенной остановки всѣхъ движущихся частей машины, производитъ въ ней весьма значительныя и въ высшей степени *опасныя сотрясенія*. Въ некоторыхъ водостолобныхъ машинахъ для сведения распределительнаго поршня со средняго положенія употребляются особые *прыжки*, которые приподнимаютъ рабочий поршень во время своего восходящаго движенія, но въ тотъ моментъ, когда поршень приходитъ въ верхнюю мертвую точку, спусканіе груза со штокомъ поршня прекращается и грузъ начинаетъ падать внизъ и при этомъ сообщать движеніе распределительному механизму (*крену, поршнямъ или клапанамъ*), который и открываетъ проходъ для воды.

Другой весьма употребительный способъ распределенія состоитъ въ устройствѣ такъ называемой *вспомогательной водостолобной машинки*. Обѣ машины, главная и вспомогательная, связаны между собою такимъ образомъ, что главная водостолобная машина ведетъ распределительный механизмъ вспомогательной, а эта послѣдняя у главной, и такимъ образомъ одна другую сводятъ съ мертвой точки.

Фигура 189 представляетъ водостолобную машину простаго движенія съ вспомогательною распределительною машинкою двойнаго дѣйствія.  $D$  и  $d$  суть рабочіе поршни, первый у главной машины, второй у вспомогательной;  $m$  и  $n$  — поршни распределительнаго прибора главной,  $a$  и  $b$  поршни такого же прибора вспомогательной машинки. Стержень  $l$  поршней  $a$  и  $b$  связанъ неразрывно со штокомъ  $F$  главной машины такъ, что онъ движется вверхъ и внизъ одновременно съ поршнемъ  $D$ . Штокъ же  $f$  вспомогательной машинки соединенъ со штокомъ  $l$  поршней  $m$  и  $n$  помощью рычага  $MON$ , цапфа котораго утверждена въ подшипникѣ  $O$ . Наконечъ,  $C$  и  $c$  суть отверстія или оконечности водонапорныхъ трубъ, ведущихъ воду изъ верхняго резервуара въ распределительные цилиндры



Фиг. 189.

На фигурѣ, представленъ тотъ моментъ, когда поршень *d* только что началъ свое восходящее движение, а поршень *D* близокъ къ нижней мертвой точкѣ. При этомъ, обработанная вода вытекаетъ изъ рабочаго цилиндра *F* черезъ соединительную трубу *i* въ отводную трубу *W*. Между тѣмъ во вспомогательной машинкѣ рабочая вода изъ напорной трубы *c* поступаетъ по соединительной трубѣ *i''* подъ поршень *d*, а обработанная вытекаетъ черезъ *i'* и *s* въ отводную трубу *W*. Поднимающійся поршень *d* вспомогательной машинки, повернувъ рычагъ *MON*, передвинетъ внизъ распределительный поршень *m*, такъ что въ моментъ, когда рабочій поршень достигнетъ нижней мертвой точки, вновь возобновится сообщеніе напорной трубы *c* съ рабочимъ цилиндромъ. Поршень *D* начнетъ подниматься вмѣстѣ съ поршнями *a* и *b*. Прежде нежели рабочій поршень дойдетъ до верхней мертвой точки, поршень *d* придетъ въ свою верхнюю мертвую точку, а поршни *a* и *b* закроютъ пролеты *i'* и *i''*, но такъ какъ въ это время поршни *a* и *b* продолжатъ подниматься вмѣстѣ съ поршнемъ *D*, то пролеты *i* и *i''* исторгъ, откроются съ противоположной стороны и рабочая вода путемъ *c—i'* пройдетъ въ верхнюю часть цилиндра *f* и начнетъ двигать поршень *d* внизъ. Тогда распределительный поршень *m* главной машинки снова подымется и къ концу хода поршни *D* установятъ сообщеніе рабочаго цилиндра съ отводною трубою *W*. Поршень *D* начнетъ снова опускаться и т. д.

Въ этомъ механизмѣ поршни вспомогательной машинки идутъ несколько впереди рабочаго поршня главной на этомъ основаніи основано дѣйствіе рассматриваемаго распределенія. Открываніе и закрываніе пролетовъ совершается постепенно, между тѣмъ какъ въ распределеніи при помощи грузовъ только закрываніе этихъ пролетовъ, производимое движеньемъ рабочаго поршня, происходитъ постепенно, а открываніе ихъ дѣйствіемъ падающаго груза совершается почти мгновенно и сопровождается ударомъ воды, производящимъ вредныя сотрясенія въ машинѣ.

*Примечаніе.* Въ случаяхъ, когда прямолинейное качательное движенье рабочаго поршня преобразуется помощью шатуна и кривошипа въ круглое непрерывное движенье, можно на валѣ насадить маховикъ, который своимъ левымъ концомъ будетъ сводить рабочій поршень съ мертвой точки, и замѣнить собою вспомогательный распределительный механизмъ.

**200. Полезная работа водостолбовыхъ машинъ.** Пусть *D* означаетъ діаметръ рабочаго поршня, *L* — его ходъ, и число двойныхъ качаній въ минуту, *Q* — расходъ воды въ секунду и *H* — напоръ, т. е. разстояние верхняго уровня воды въ бакѣ до отверстія выпускной трубы. Тогда запасъ работы воды выразится:  $T_m = \Delta Q H L$ , гдѣ

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} L \frac{n}{60} \quad \text{для машинъ простаго дѣйствія}$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} L \frac{2n}{60} \quad \text{— } \text{ » } \text{ двойнаго } \text{ » }$$



Полезное действие водостолбовых машинъ, какъ показываютъ опыты, составляетъ среднимъ числомъ отъ 0,70 до 0,80 запаса работы воды, т. е.:

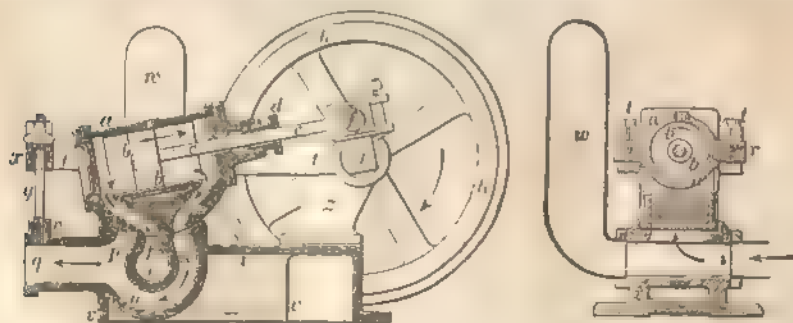
$$T_v = (0,70 - 0,80) \Delta QH \dots \dots \dots (67).$$

Потеря работы происходитъ главнымъ образомъ вълѣдствіе тренія набишки поршня о стѣнки рабочаго цилиндра и гидравлическихъ сопротивлений при движеніи воды по трубамъ сверхъ того часть работы воды тратится на сообщеніе движенія расширительному механизму. Относительно тренія воды въ напорной трубѣ должно замѣтить, что такъ какъ оно пропорціонально квадрату скорости и обратно пропорціонально диаметру трубы (§ 147), то оно будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше диаметръ трубы и чѣмъ медленнѣе движеніе воды, т. е. чѣмъ медленнѣе движеніе рабочаго поршня.

Поэтому среднюю скорость поршня  $c = \frac{nL}{30}$  должно дѣлать по возможности меньше. Въ существующихъ машинахъ малой силы эта скорость не превосходитъ 0,75 м., въ машинахъ средней силы она бываетъ не болѣе 0,5 м., а въ машинахъ большой силы не болѣе 0,3 метра.

*Примѣры.* Водостолбовая машина, устроенная въ свинцовыхъ рудникахъ въ Гюльго (въ Бретани), при напорѣ въ 198 футъ преобразуетъ въ полезную работу 66% работы воды. Другая машина, устроенная близъ Фрейберга въ шахтѣ *Alte Mordgrube*, работающая при напорѣ 356 фут., при ходѣ поршня въ 8 фут., диаметрѣ цилиндра  $D=1'$ , фут и  $n=4$ , преобразуетъ въ полезную работу 0,84 работы воды.

**201. Водостолбовая машина Шмидта (фиг. 190).** Эта машина имѣетъ большое распространеніе въ мелкой промышленности. Она состоитъ изъ чугуннаго цилиндра *a* съ поршнемъ *b*, качающагося



Фиг. 190.

около массивныхъ цапфъ гг: цилиндръ снабженъ цилиндрическимъ приливомъ *e*, который вмѣстѣ съ цилиндромъ *a* качается въ неподвижной частѣ *k*, имѣющей три канала *u*, *k* и *p*, сообщающихся,



смотря по положенію цилиндра, съ однимъ изъ двухъ его каналовъ  $l$  и  $m$ . Рабочая вода притекаетъ въ цилиндръ постоянно по трубѣ  $i$ , а выходитъ изъ него, отработавши, по трубѣ  $q$ . При положеніи цилиндра, показанномъ на чертежѣ, рабочая вода входитъ въ цилиндръ по каналу  $kl$ , движется поршень слѣва направо, при чемъ отработавшая вода изъ правой части цилиндра выходитъ по каналу  $m$  въ отводный каналъ  $mq$ . Качательное движеніе поршня преобразуется въ круговое непрерывное движеніе вала  $g$  при помощи шатуна  $e$  и кривошипа  $fu$ . Для устранения сильныхъ ударовъ воды въ напорной трубѣ (при переменахъ хода), всасывающаго снабжена воздушнымъ колоколомъ  $n$  (мѣднымъ). Для уравниванія хода служить маховое колесо  $h$ .

Слѣдуетъ обратить вниманіе еще на детали установки цанфа  $i$ . Подшипники этихъ цанфъ укрѣплены къ балкамъ  $t$ , передніе (правые) концы которыхъ укрѣплены прочно въ столбахъ  $z$ , отлитыхъ заодно со станиною  $v$ , а задніе соединены поперечникомъ  $x$ , опирающемся на винтъ  $y$ . При такомъ устройствѣ опоръ для цанфъ не трудно регулировать плотное соприкосновеніе прилива  $e$  съ чашей  $k$ , съ цѣлью устранить протечи воды, а также сильное треніе на соприкасающихся поверхностяхъ  $e$  и  $k$ .

По опытамъ Баха, произведеннымъ въ 1872 г. машина Шмидта № 1 при  $l$  полезной работы расходуетъ, при  $H=30$  м. 12 куб. м. воды въ часъ. Число оборотовъ въ мин. 100. Коэфф.  $\eta$  д.  $\eta=0.53$ . При  $H=60$  м., расходъ воды составлялъ всего 6 куб. м. въ часъ.

**202. Аккумуляторъ Армстронга.** Водостолбовныя машины имѣютъ также примѣненіе въ гидравлическихъ подъемныхъ механизмахъ (воротныхъ и крановыхъ), гдѣ онѣ служатъ для подъема и передвиженія съ мѣста на мѣсто значительныхъ грузовъ, на рудникахъ, докахъ, большихъ стаяхъ, желѣзныхъ дорогахъ и во многихъ мастерскихъ, большихъ заводахъ. Эти водостолбовныя машины отличаются искусственнымъ напоромъ производимымъ при помощи такъ наз. аккумулятора (собирателя).

Въ общемъ устройство аккумулятора представляетъ большое сходство съ гидравлическимъ прессомъ. Онъ состоитъ изъ вертикальнаго цилиндра  $A$  (фиг. 191), въ которомъ движется поршень  $B$  (штырь), проходящій черезъ сальники. Къ поперечникъ  $C$ , соединенной съ штыремъ и движущейся между направляющими стойками  $F, E$ , подвѣшенъ цилиндръ  $G$ , склепанный изъ желѣзныхъ листовъ и наполненный какимъ нибудь дешевымъ грузомъ (сѣномъ, камнемъ, водою, чугуномъ). По одной изъ трубокъ  $F$  въ стаканъ  $A$  вгоняется вода нагнетательнымъ насосомъ, который приводится въ движеніе небольшою паровою машиною. При этомъ нагрузка поднимается и такимъ способомъ происходитъ въ приборѣ накопленіе потенциальной энергіи. Другая трубка  $F$  служитъ для проведения

воды, находящейся подъ значительнымъ напоромъ, изъ цилиндра А къ водостолбовымъ машинамъ.

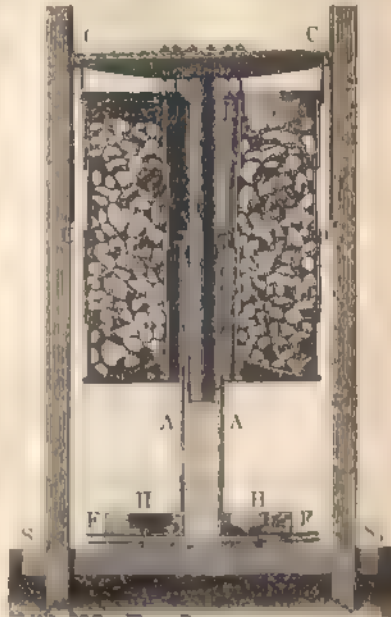
Нагрузка рассчитывается такимъ образомъ, чтобы давление ею производимое на кв. ед. поверхности воды или площади ныряла, составило требуемое число атмосферъ. Предположимъ, напр., что диаметръ ныряла равенъ 0,45 м., а давление должно быть въ 50 атм. (на ед. площади). Давленіе одной атм. на кв. м., какъ извѣстно (§ 117), равно вѣсу столба воды, имѣющаго основаніемъ 1 кв. м., а высотой 10,3340 м., т. е. равно 10,334 klg. Давленіе же 50 атм. и притомъ не на един., а на всю площадь ныряла будетъ:

$$Q = 50 \cdot 10,334 \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 82664 \text{ к. На-}$$

грузка должна быть равна этому давленію. Если высота стакана аккумулятора равна, напр., 6 метр., то запасъ работы воды аккумулятора, находящійся въ нашемъ распоряженіи, будетъ:

$T_m = 6Q \text{ к. м.} = 495984 \text{ к. м.,}$   
что равносильно работѣ паровой машины силою въ 1,84 пар. л. въ теченіе часа.

Изъ сказаннаго ясно, что аккумуляторъ не есть собственно машина-пріемникъ: онъ только собираетъ энергію и понятно, что было бы невыгодно пользоваться аккумуляторомъ для непрерывнаго движенія водостолбовой машины. По подъемныя машины по самому роду работы, ими производимой, должны дѣйствовать только по временамъ, потому въ такихъ случаяхъ оказывается выгодно дѣйствовать водостолбовыми машинами, подготовляя для нихъ напоръ помощью явственной паровой машины, нежели имѣть постоянно готовую къ дѣйствію, на случай надобности, паровую машину значительныхъ размѣровъ. Пусканіе насоса въ ходъ и прекращеніе его дѣйствія производятся самими аккумуляторами въ моменты, соответствующіе самому низкому и самому высокому положенію платформы С. Въ эти моменты платформа, соединяясь съ системой рычаговъ, соединенною съ паровымъ клапаномъ паровой машины, движущей насосъ, открываетъ или закрываетъ этотъ клапанъ и такимъ образомъ пускаетъ въ ходъ или останавливаетъ паровую машину и насосъ.



Фиг. 191

## ЗАДАЧИ.

83. Построить турбину Жюльваля или Жирара въ 40 пар. л. при напорѣ 10 м.

84. Построить турбину Фурнейрона въ 50 пар. л. при напорѣ въ 2 м.

85. Опредѣлить полезную работу, диаметр и ходъ главнаго першина водостолбовой машины двойнаго дѣйствія. Дано  $H=350$ ,  $Q=2$  куб. ф., средняя скорость першина=1, число двойныхъ размаховъ въ минуту  $n=4$ .

## ГЛАВА IX.

## Пріемники вѣтра.

Запасъ работы вѣтра.—Направленіе и скорость вѣтра; анеометръ Клера.—Подушадленіе вѣтряныхъ колесъ.—Устройство вѣтрянаго колеса съ крыльями.—Полезная работа вѣтрянаго колеса.—Регулированіе скорости вѣтрянаго колеса.—Вѣтряныя мельницы.—Американскія вѣтряныя колеса.—Дѣйствіе вѣтра на паруса.—Задачи.

**203. Запасъ работы вѣтра.** Пріемники, служащіе для преобразования энергии вѣтра въ полезную работу, имѣютъ вращательное движеніе и наз. *вѣтряными колесами*. они состоятъ изъ вала, который снабжается крыльями, принимающими дѣйствіе вѣтра. Если назовемъ буквою  $Q$  объемъ воздуха, притекающій въ секундѣ къ крыльямъ вѣтрянаго колеса, а буквою  $c$  среднюю скорость вѣтра, то запасъ работы вѣтра, дѣйствующаго на крылья пріемника, можетъ быть выраженъ формулою

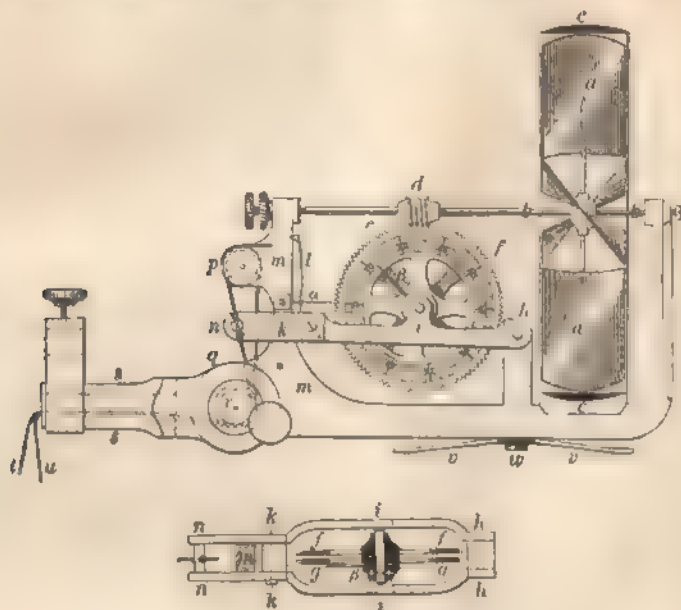
$$T_m = \Delta' \frac{Q}{2g} c^2, \text{ или } T_m = 1.25 \frac{Q}{2g} c^2 \dots (a)$$

такъ какъ плотность воздуха среднимъ числомъ въ 800 разъ меньше плотности воды.

**204. Направленіе и скорость вѣтра; анеометръ Клера.** Главный недостатокъ вѣтра, какъ двигателя, составляетъ его измѣняемость какъ въ отношеніи направленія, которое нерѣдко проходитъ въ теченіе однихъ сутокъ всѣ румбы, такъ и въ отношеніи скорости. Направленіе вѣтра въ данный моментъ опредѣляется посредствомъ *вѣтроуказателя (флюгера)*. Для измѣренія скорости служатъ приборы, наз. *анеометрами (вѣтромѣрами)*.

На фиг 192 изображенъ анеометръ Клера со счетчикомъ Волластона (§ 57), представляющій видоизмѣнене вертушки Вольтмана (§ 153). На горизонтальной оси  $bb$  укрѣплены 6 алюминиевыхъ

кривых крыльев  $a, a$ , вращающихся въ кольцевомъ кожухѣ  $cc$ . Ось  $b$  снабжена червякомъ  $d$ , сцепляющимся одновременно съ 2 зубчатыми колесами  $f$  и  $g$ , изъ которыхъ заднее колесо  $f$  имѣетъ однимъ зубомъ болѣе, нежели переднее, вследствие чего периферическій указатель  $\alpha$  показываетъ десятки, а центральная стрѣлка  $\beta$  сотни оборотовъ оси  $bb$ . Общая ось  $i$  колесъ установлена въ двойномъ рычагѣ  $hh$ , имѣющемъ ось вращения въ  $h$ . Къ свободному концу  $n$  рычага прикрѣплены два шнура  $p$  и  $q$ , перекину-



Фиг. 192.

тые черезъ два отдѣльных ролика  $r$  и служащія для сцепленія и расцепленія счетчика съ червякомъ. Ланки  $tt$ , могущія вращаться около болтика  $u$ , служатъ для устойчивой установки прибора на плоскости, для чего ихъ надо поставить перпендикулярно къ длинѣ прибора.

Для опредѣленія скорости вѣтра  $v$  м. въ сек., по числу  $n$  оборотовъ крыльевъ пользуются формулою:  $v = 0,056 + 0,16n$ .

**205.** Величина скорости вѣтра мѣняется въ широкихъ предѣлахъ. Приводимъ таблицу различныхъ скоростей вѣтра и соответствующихъ давленій на квадратный метръ, составленную на основаніи опытовъ Борн и Смитона

	с въ метр.	давление на $\square$ м. въ klg.
Слабый вѣтеръ . . . . .	2,00	0,54
Свѣжій . . . . .	6,00	4,87
Вѣтеръ, наиболѣе удобный для мельницъ.	7,00	6,64
Очень свѣжой вѣтеръ, удобный для парус- ныхъ судовъ. . . . .	9,00	10,97
Сильный вѣтеръ . . . . .	15,00	30,47
Очень сильный вѣтеръ. . . . .	20,00	54,16
Буря . . . . .	30,06	122,28
Ураганъ . . . . .	45,30	277,87

**206. Подраздѣленіе вѣтряныхъ колесъ.** Вѣтряныя колеса раздѣляются, по положенію оси вращенія на колеса съ *вертикальною* и *горизонтальною* осью. Первые имѣютъ то преимущество, что могутъ вращаться при всякомъ направленіи вѣтра, но полезная работа ихъ, при одинаковой величинѣ и при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ выходитъ несравненно меньше работы вторыхъ. Это обстоятельство объясняется тѣмъ, что въ колесахъ съ горизонтальною осью вѣтеръ дѣйствуетъ одновременно и одинаково на всѣ крылья, а въ колесахъ съ вертикальною осью только на нѣсколько. Поэтому мы рассмотримъ лишь колеса съ горизонтальною осью, которые шире употребляются, не смотря на то, что они требуютъ приспособленія для условій колеса на вѣтеръ.

**207 Устройство вѣтрянаго колеса съ крыльями.** Вѣтряное колесо состоитъ изъ деревяннаго вала (фиг. 195), имѣющаго на переднемъ концѣ *головку*, въ которой укрѣплены крылья (обыкновенно четыре, а на заднемъ *цапфу*, которою валъ опирается на подшипникъ. Вѣтъ головки валъ снабжается *шейкою*, т. е. закругленною частью которою онъ опирается на второй подшипникъ. Наконецъ, между шейкою и цапфою валъ имѣетъ вторую головку, предназначенную для укрѣпленія на валѣ передаточнаго колеса. Валъ устанавливается наклонно къ горизонту по направленію вѣтра, который, какъ показываютъ наблюденія, составляетъ съ горизонтомъ уголъ отъ  $10^{\circ}$  до  $15^{\circ}$ .

Каждое крыло состоитъ изъ *махи* М (фиг. 193), или деревяннаго прямоугольнаго бруса, длиною отъ 10 до 12 м., укрѣпленнаго перпендикулярно къ валу въ отверстіи, сдѣланномъ изъ головки. Если валъ деревянный, то два бруса пропускаютъ сквозь головку и образуютъ изъ нихъ такимъ образомъ четыре махи. Головка стягивается для прочности желѣзными хомутами. Сквозь махъ, начиная съ разстоянія отъ 1 до 1 м., длиннѣе его, пропускаются въ равномъ разстояніи (около 10 с. м.) одинъ отъ другаго поперечные бруски, или такъ наз. *малыки* аа', концы которыхъ связываются продольными (сборными) брусками БВ и СЕ, ограничивающими крыло съ боковъ. Обыкновенно махъ проходитъ не по серединѣ

крыла, а разбивает поверхность крыла на две неравные части, из которых меньшая составляет от  $1^{\circ}$  до  $2^{\circ}$ , полной поверхности крыла и обращена в сторону ветра. Узкую часть крыльцевого покрывають тонкою досчаткою обшивкою, а широкую закрывают съёмными стёклами или натягивают парусиною. Въ последнемъ случаѣ между плетнями, маховъ и сборными брусками укрѣпляются продольные и поперечные брусочки тагъ, что ими вся поверхность крыла разбивается на квадратики величиною въ 0,2 кв. м. Крылья дѣлаются *плоскими* или *косыми*. Въ первомъ случаѣ всѣ плетни лежатъ въ одной плоскости, наклонной къ плоскости вращения подъ угломъ  $\gamma$  отъ  $12^{\circ}$  до  $18^{\circ}$ . Во второмъ — плетни наклонены къ плоскости вращения подъ различными углами ближайшая къ валу плетня наклонена къ нему подъ угломъ  $18^{\circ}$  и затѣмъ, по мѣрѣ удаленія плетни отъ вала, уголъ этотъ постепенно уменьшается, такъ что для последней онъ равенъ  $7^{\circ}$ .

Напомнимъ, что касается формы крыла, то, какъ показали опыты Стейнхола крылья, имѣющія форму трапецій доставляютъ, при равныхъ размерахъ, больше работы, нежели прямоугольныя крылья. Въ послѣднихъ длина плетней одинакова и равна расстоянью первой плетни отъ вала (отъ  $1^{\circ}$  до  $1^{\circ}$  длины маха), въ первыхъ ближайшая къ валу плетня дѣлается равною расстоянью ея отъ вала, а крайняя отъ  $1^{\circ}$  до  $1^{\circ}$  длины маха. Замѣтимъ еще, что, вѣтряное колесо, имѣющее косыя *обнуемые* крылья, составленныя изъ кривыхъ маховъ и брусковъ, доставляютъ больше полезной работы, нежели колеса, имѣющія крылья съ прямыми махами. Несмотря на то, вогнутыя крылья мало распространены по причинѣ трудности ихъ приготовления.

**208.** Чтобы объяснить *необходимость наклоненія крыла къ плоскости вращения*, замѣтимъ, что если бы оно лежало въ этой плоскости, то вѣтеръ производилъ бы на него давленіе параллельное оси вала, которое стремилось бы лишь сдвинуть крыло впередъ съ валомъ по его направленію. Если же плоское крыло расположено наклонно къ валу, то нормальное давленіе вѣтра на крыло, замѣняется двумя составляющими, изъ которыхъ одна параллельна оси вала и увеличиваетъ лишь треніе въ подшипникѣ, другая же перпендикулярна къ валу и сообщаетъ крылу вращеніе. Не трудно видѣть также, что если бы поверхности каждаго изъ двухъ противоположныхъ крыльцевъ были наклонены въ одну сторону, относительно плоскости вращения, то крылья не вращались бы, такъ какъ давленіе вѣтра стремилось бы вращать ихъ въ противоположныя стороны.

Необходимость *уменьшенія угла наклоненія плетней къ плоскости вращения*, по мѣрѣ удаленія ихъ отъ оси вытекаетъ изъ сѣ-



Фиг. 193



дующаго соображенія. Пусть на фиг. 193 00' будет направленіе вѣтра или вала А, аb — элементъ крыла, перпендикулярный къ маху и удаленный отъ оси вала на разстояніе г. Если абсолютную скорость вѣтра означимъ буквою с, а скорость переноснаго движенія (скорость вращения элемента аb вокругъ оси) буквою v, то относительная скорость вѣтра по отношенію къ элементу аb представится діагональю с' параллелограмма, построеннаго на с и —v. Но теперь мы можемъ разсматривать условія дѣйствія вѣтра, предполагая элементъ аb неподвижнымъ, а вѣтеръ — дѣйствующимъ не по направленію 00', а по направленію 0с', составляющему съ предыдущимъ нѣкоторый уголъ  $\alpha$ , тангенсъ котораго равенъ,  $\text{tang} \alpha = \frac{v}{c} = \frac{\omega}{c}$  г, гдѣ  $\omega$  есть угловая скорость вала. Изъ этого выраженія видно, что уголъ  $\alpha$  возрастаетъ съ разстояніемъ элемента отъ оси вращения. Понятно, что для того, чтобы всѣ элементы крыла находились въ одинаково выгодныхъ условіяхъ по отношенію къ дѣйствію вѣтра, т. е. чтобы уголъ  $\beta$  былъ одинъ и тотъ же, необходимо уменьшать уголъ наклона иглицъ по мѣрѣ удаленія ихъ отъ оси вала.

**209. Полезная работа вѣтрянаго колеса** Первые и весьма тщательные опыты относительно полезной работы вѣтряныхъ колесъ съ крыльями были произведены *Смитомъ* (въ 1759 г.) и *Кулономъ* (въ 1781 г.). Средни выводъ изъ наблюденій *Кулона* даетъ для этой работы слѣдующую формулу, довольно близко согласующуюся съ теоретическими выводами

$$T_u = k n F c^3 \text{ к. м. или } N = \frac{k n F c^3}{75} \text{ пар. л.} \quad (68)$$

гдѣ с есть средняя скорость вѣтра, F — площадь крыла, n — число крыльевъ и k — практический коэффициентъ, равный 0.015 для крыла прямоугольной формы и 0.026 — для трапециoidalнаго крыла.

Формула (68) даетъ достаточно вѣрные результаты только когда скорость на окружности крыльевъ близка къ наивыгоднѣйшей. При опытахъ *Смита* и *Кулона* оказалось, что когда мельница движется порожнемъ, скорость на окружности крыльевъ въ четыре раза больше скорости вѣтра. Для наивыгоднѣйшаго же дѣйствія вѣтрянаго колеса полезное сопротивленіе должно быть регулировано такимъ образомъ, чтобы скорость на окружности крыльевъ составляла  $\frac{2}{3}$  предыдущей, т. е.  $\frac{2}{3}$  скорости вѣтра; слѣд. наивыгоднѣйшая скорость v' на окружности равна  $v' = 2.66 \text{ с}$ .

Коэффициентъ полезнаго дѣйствія вѣтрянаго приемника получимъ, раздѣливъ вр. (68) на вр. (а, § 203)

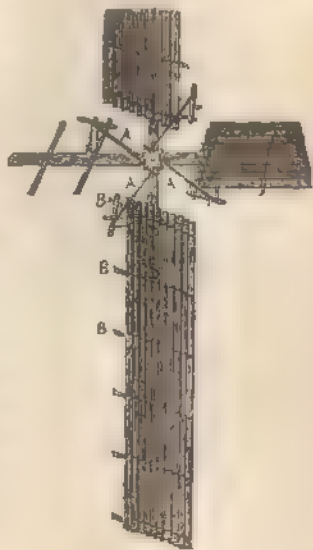
$$\mu = \frac{T_u}{T_m} = \frac{0.026 \cdot n F c^3}{1.25 \cdot Q c^3} = 0.40,$$

$2g$

гдѣ принято:  $Q = n F c$ .

**210. Регулирование скорости ветряного колеса.** Мы видели выше, что наилучшая скорость на окружности крыльев равна 2,66 скорости ветра (Однако эта скорость не должна превосходить избытка предѣла, зависящаго отъ скорости исполнительнаго механизма). Наиболее употребительное средство регулированія скорости крыльевъ при усиленіи вѣтра состоитъ *въ уменьшеніи поверхности крыла*, вслѣдствіе чего уменьшается давленіе вѣтра, а, слѣд., и скорость крыла. Для этого приволятъ каждое крыло въ самое нижнее положеніе и остановивъ колесо посредствомъ тормоза, *свертываютъ паруса или сжимаютъ ставни*, поднимаясь по иглицамъ, какъ по лѣстницѣ. Если нужно, въ вѣду быстро усиливающагося вѣтра остановить мельницу, то крылья обнажаютъ совершенно.

Описанный способъ регулированія сопряженъ съ потерей времени и не вполне безопасенъ. Въ мельницахъ лучшаго устройства употребляется особая система *складныхъ плоскихъ крыльевъ* (Вертона) (фиг. 194), составленная изъ продольныхъ планокъ, отчасти перекрывающихъ другъ друга на подобіе рѣшетчатыхъ ставней жалюзіи). Эти планки прикреплены посредствомъ скрѣпъ D къ иглицамъ B, B., которыя могутъ вращаться вокругъ ихъ точекъ закрѣпленія къ махамъ. Самыя скрѣпы D также подвижны вокругъ точекъ ихъ закрѣпленія къ иглицамъ. Изъ этого устройства видно, что для того, чтобы привести сборку или раздвиганіе планокъ, образующихъ крыло, достаточно повернуть одну изъ иглицъ (съ этою цѣлью) къ концу первой иглицы каждаго крыла прикрѣпленія на шарниръ зубчатая рейка A, сдѣлывающаяся съ шестернею, ось которой проходитъ внутри вала по всей его длинѣ и оканчивается рубяtkою. Вращая шестерню заставляешь продвигаться въ ту или другую сторону змѣйки, а съ ними и всѣ иглицы, причемъ планки болѣе или менѣе перекрываются и такимъ способомъ достигаютъ увеличенія или уменьшенія поверхности крыла, дѣйствуя изнутри мельницы и на ходу.

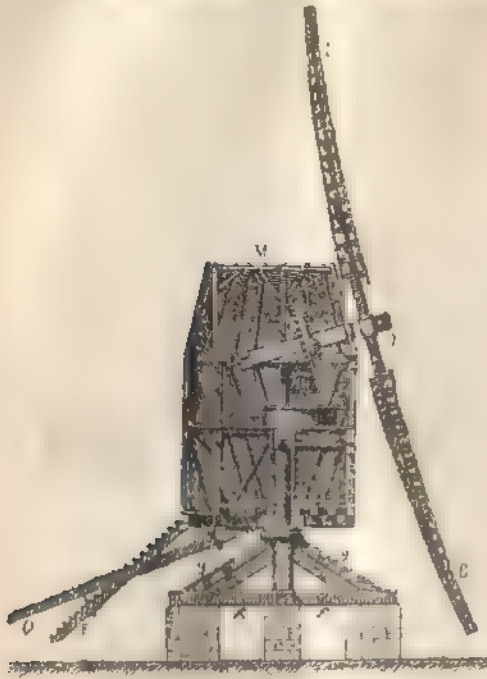


Фиг. 194.

**211. Вѣтряныя мельницы** <sup>1)</sup>. Подъ именемъ *вѣтряныхъ мельницъ* разумѣютъ строеніе, поддерживающее вѣтряное колесо и ис-

<sup>1)</sup> Время и мѣсто изобрѣтенія вѣтряныхъ мельницъ, какъ и водяныхъ колесъ, до сихъ поръ достоверно неизвѣстны. Первая свѣдѣнія объ нихъ

полнительные механизмы, получающие от него движение. Такъ какъ при всякой перемѣнѣ направленія вѣтра является необходимость устанавливать валъ приемника *на вѣтеръ*, то мельницы должны быть удобоподвижны около вертикальной оси. По способу установки на вѣтеръ, мельницы раздѣляются: 1) на *нѣмецкія* или на *козмія* и 2) на *голландскія* или *шатровыя*. У первыхъ весь корпусъ вмѣстѣ съ крыльями поворачивается около вертикальнаго столба, а у вторыхъ—только верхняя часть, наз. *шатромъ*.



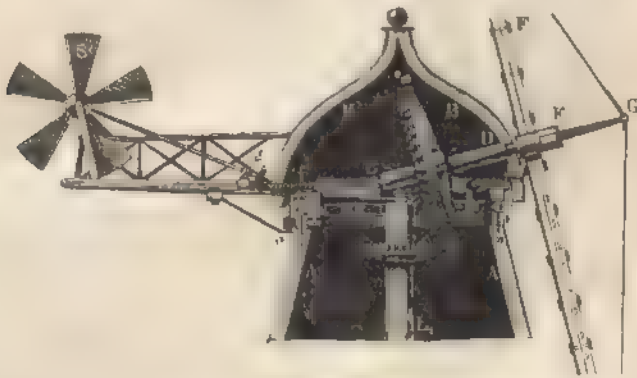
Фиг. 193.

ланной въ нижнюю грань *головнаго* бруса *Н*, вторымъ подшипникомъ служитъ отверстие, образуемое балками *Л*. Все здание можетъ быть поворачиваемо. Для установки вала *АВ* на вѣтеръ, при помощи длиннаго рычага *Q*. Остальныя части мельницы: *В*—крылья, *С*—передаточное лобовое колесо, сѣбяющее съ цѣвочною шестерней, *Д*—мельничный поставъ.

На фиг. 196 изображена верхняя часть голландской мельницы. *ВВ* есть крыша или *шатръ*, въ которомъ установленъ валъ *СДЕ*. *ЕФ*—маха косыхъ крыльевъ, стянутая, для предохраненія прогиба, струнами *ГГ*. Шатръ *В* поддерживается деревяннымъ или каменнымъ корпусомъ *АА*, оканчивающимся сверху вѣтромъ изъ такой же плетни *bb* прирѣпленной снизу къ шатру. Между этими

открыты въ 1105 г. они были найдены въ динсѣ, выданномъ одному монастырю во Франціи на устройств. водяныхъ и вѣтряныхъ мельницъ (*sententia ad ventum*). Голландскія вѣтряныя мельницы стали извѣстны съ 1650 г.

вѣтцами помѣщены. для облегченія вращенія шатра чугунные вертикальные катки с, с., прикрѣплены къ вѣтцу бб. Для предупрежденія опрокидыванія и сдвиганія шатра на сторону, верхній вѣтонец в снабжается второю системою горизонтальных катковъ, которые перекатываются по внутренней поверхности вѣнца а. послѣдній обтягивается желѣзнымъ обручемъ, имѣющимъ вверху закраину, перекрывающую горизонтальные катки. Поворачиваніе шатра совершается или обыкновеннымъ способомъ, посредствомъ рычага или лебедки, или *автоматически*, при помощи *направляющаго* колеса z. Последнее закрѣплено на оси, перпендикулярной къ валу



Фиг. 196.

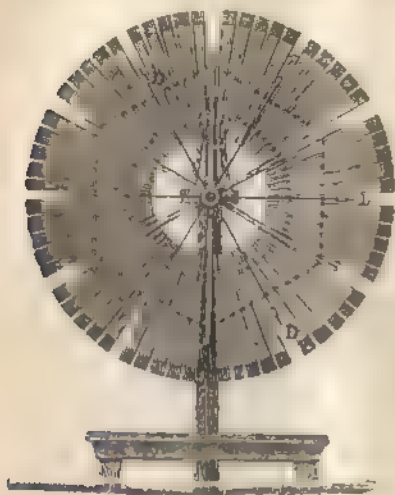
прямника и вращается только тогда, когда главный валъ не направленъ по вѣтру. Вращеніе колеса z сообщается колесу к, отъ котораго при посредствѣ колеса і передается шестерня е, послѣдняя сдѣлывается съ зубчатымъ вѣтцомъ, прикрѣпленнымъ снаружи къ вѣтцу а и такимъ образомъ поворачиваетъ шатеръ до вѣтцъ порѣ, пока главный валъ не станетъ по вѣтру. Въ этой мельницѣ вертикальный валъ ll, передаточнаго механизма долженъ совпадать при всѣхъ положеніяхъ крыльевъ съ геометрическою осью шатра, чтобы не нарушалось сдѣленье колесъ.

**212. Американскія вѣтряныя колеса.** Главнѣйшій недостатокъ описанныхъ выше вѣтряныхъ приемниковъ съ крыльями заключается въ малой площади, которую они могутъ представить напору вѣтра. Это обстоятельство влечетъ за собою, при относительно небольшомъ увеличеніи силы вѣтра, значительное увеличеніе его размѣровъ, стоимости и вѣса. Исцѣленіе тяжелой конструкции старѣе приемники поглощаютъ большую часть работы на треніи и не могутъ работать при скорости вѣтра  $< 4$  м. Появившіяся не такъ давно *американскія* или *стекляныя* вѣтряныя колеса, не имѣя этихъ недостатковъ, представляютъ много другихъ преимуществъ передъ ста-

рыми приемниками. Они могут работать почти при всяком вѣтрѣ, отличаются весьма правильнымъ ходомъ и, благодаря легкой конструкции, допускаютъ легкую и надежную установку. Поэтому въ настоящее время они все болѣе

вытѣсняютъ голландскія мельницы, несмотря на всѣ улучшения, сдѣланныя въ послѣднихъ въ новѣйшее время (автоматическая установка на вѣтеръ, автоматическое регулирование скорости вѣтра).

Американскія вѣтряныя колеса принадлежатъ къ числу колесъ съ горизонтальною осью и состоятъ изъ круглаго диска (фиг. 197), составленнаго изъ радіальныхъ досокъ, наклонныхъ къ плоскости диска. Въ серединѣ колеса дѣлается круглый вырѣзъ, діаметръ котораго равенъ  $\frac{1}{2}$  діаметра колеса, такъ что дѣйствию вѣтра подвержено  $\frac{3}{4}$  всей площади диска, между тѣмъ какъ въ старыхъ приемникахъ съ 4—5 крыльями только  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ . Поэтому діаметръ американскихъ колесъ, при прочих равныхъ условіяхъ, составляетъ



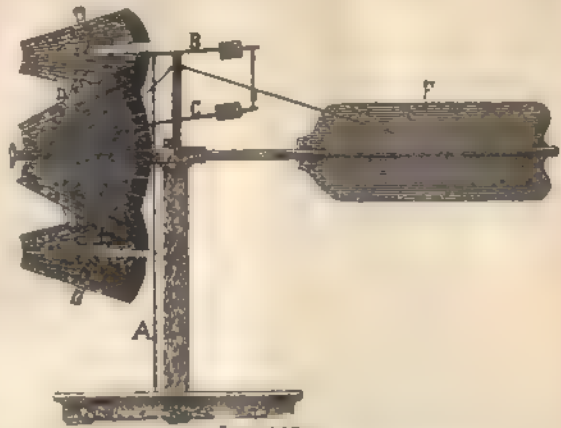
Фиг. 197.

около 0,5—0,6 діаметра старыхъ приемниковъ. Установка на вѣтеръ дисковыхъ колесъ производится автоматически при помощи большаго флюгера, прикрѣпленнаго къ заднему концу вала и расположеннаго вертикально, т. е. въ плоскости, перпендикулярной къ диску.

Всѣ американскія вѣтряныя колеса строятся съ автоматическимъ регулированиемъ рабочей поверхности. Въ этомъ отношеніи дисковыя колеса можно раздѣлить на два класса: на колеса съ неизмѣннымъ дискомъ и на колеса со складнымъ дискомъ. Въ колесахъ съ неизмѣннымъ дискомъ (система Эллиотъ) регулирование производится посредствомъ втораго флюгера небольшихъ размѣровъ, установленнаго перпендикулярно къ первому и, слѣд., параллельно диску. Вѣтеръ, усилившись, повернетъ вѣсколицю второй флюгеръ вмѣстѣ съ колесомъ, которое станетъ наклонно къ вѣтру, вследствие этого уменьшится рабочая поверхность и угловая скорость удержится въ извѣстныхъ предѣлахъ. Этотъ способъ регулированія не дѣйствителенъ, когда, при постоянномъ вѣтрѣ, уменьшается или совсѣмъ прекращается опытное полезное сопротивленіе.

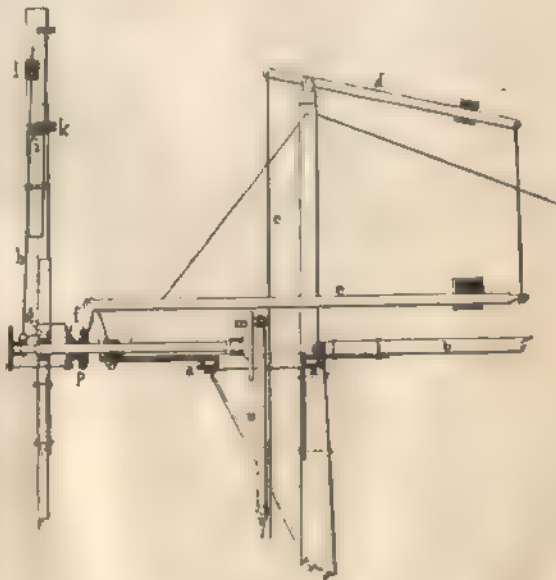
Колеса со складнымъ дискомъ, изобрѣтенныя амер. заводчикомъ Галлапеемъ, представляютъ самый совершенный изъ американскихъ

вѣтряныхъ приемниковъ. Въ колесахъ Галладея (фиг. 197) дискъ состоитъ изъ шести секторовъ, могущихъ вращаться около осей, лежащихъ въ плоскости колеса и укрепленных къ ручкамъ его. Следствиемъ этого вращенія является свертываніе секторовъ диска, на подобіе зонта, въ положеніе, представленное на фиг. 198, при которомъ дощечки параллельны флюгеру *F*, а, слѣд., и вѣтру: движеніе колеса прекращается.



Фиг. 198.

Свертываніе диска можетъ быть произведено отъ руки передвиженіемъ внизъ штанги или цѣпи *c* (фиг. 199), соединенной, при помощи рычаговъ *d* и *e*, вилки *f* съ муфтой *p* и колѣнчатого рычага *g*, съ радіальными тягами *h*, которые въ свою очередь сочленены посредствомъ коротенькихъ рычаговъ *i* съ осями секторовъ. Если вѣтеръ силенъ, то подъ его давленіемъ секторы стремятся занять положеніе фиг. 198, причемъ они должны преодолѣть сопротивленіе передвижнаго груза, помѣщен. на рычагѣ *e*. Надлежащею установкою этого груза можно достигнуть того, что дискъ будетъ свертываться вполнѣ при извѣстной (предѣльной) скорости



Фиг. 199.



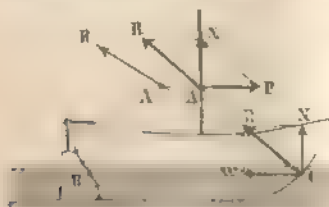
вѣтра или же отчасти, если скорость вѣтра немного превышает нормальную. *Регулирование при постоянной скорости вѣтра въ случаѣ уменьшенія полезнаго сопротивленія* производится особыми грузами 1, урыбленными на концахъ радиальныхъ тягъ h. При очень большой скорости вращения колеса эти грузы дѣйствіемъ центробѣжной силы производятъ такого рода давленія, при которыхъ секторы принимаютъ наклонное положеніе къ вѣтру и такимъ образомъ противопоставляютъ его давленію меньшую рабочую поверхность (въ видѣ конуса).

**213. Полезная работа** американскихъ колесъ можетъ быть выражена формулою:

$$N = \frac{kFv^3}{75} \text{ пар. л.} \quad (69)$$

гдѣ F есть рабочая поверхность, въ кв. м., v — скорости вѣтра и  $k = 0.035$ . Строить путь различныя силы, отъ 1 до 20 и 5—13 пар. лошадей.

**214. Дѣйствіе вѣтра на паруса** Поступательное движеніе паруснаго судна происходитъ подъ дѣйствіемъ двухъ силъ, *давленія вѣтра на паруса* (§ 161) и *сопротивленія воды*. Предположимъ, для простоты, что судно идетъ только одинъ вертикальный парусъ, который будемъ разсматривать какъ плоскій. Пусть направленіе вѣтра совпадаетъ съ направлениемъ движенія судна. Полное сопротивленіе R воды разложимъ на двѣ составяющія, изъ которыхъ вертикальная X (фиг. 200) будетъ производить ве-



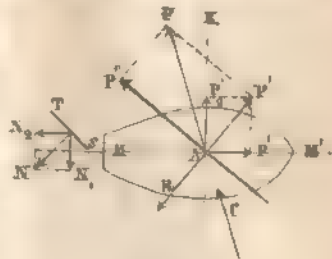
Фиг. 200.

большое поднятіе передней части судна или уничтожить наклоненіе этой части, когда п. тяжести всего судна лежитъ нѣсколько впереди ц. тяжести водонмѣщенія (§ 124), а горизонтальная W представитъ сопротивленіе воды. Давленіе вѣтра P на парусъ лежитъ въ одной вертикальной продольной плоскости симметріи судна съ полнымъ сопротивленіемъ воды R и приложена въ центрѣ тяжести A паруса. Предположимъ, что точка A лежитъ на вертикали ц. тяжести судна

и что направленіе R проходитъ черезъ эту точку. Если движеніе судна равномерно, то  $P = W$  и равнодѣйствующая N силъ R и P совпадетъ съ вертикалью AN и будетъ производить лишь небольшое поднятіе судна. Когда  $P > W$ , то судно пойдетъ ускорянно, но какъ сопротивленіе воды возрастаетъ пропорціонально квадрату относительной скорости, то равновѣсіе скоро установится и судно пойдетъ равномерно. Если направленія силъ R и P пересѣкаются въ точкѣ A, то и сила N будетъ равнодѣйствующая N будетъ стремиться не только поднимать сѣню параллельно *интеракти* W', но также поднимать корму и потужать носъ судна, пока направленіе R не пройдетъ черезъ A. Въ такомъ случаѣ лучше убрать верхнюю часть паруса. Обратное происходитъ, когда направленіе R пересѣкаетъ вертикаль AN въ точкѣ тяжелой ниже A.

Въ случаѣ *бокового* вѣтра давленіе его P (фиг. 201) можетъ быть разложено на двѣ составляющія: одну P' въ плоскости паруса и другую P'', нормальную къ парусу. Последняя вызоветъ со стороны воды сопротивле-

ние  $R$ , равное и противоположное. Сила  $P$  в свою очередь может быть разложена на две, одну  $P_1$  по направлению  $MM'$ , другую  $P_2$  по  $AK$ . Последняя сообщает судну по направлению  $AK$  лишь весьма незначительную скорость, ибо уже при малой скорости сопротивление воды по этому направлению, вследствие большой величины поперечной площади  $MM'$  судна по сравнению с *маленьким* значением главного поперечного сечения, достигает величины, равной силе  $P$ . По обратной причине составляющая  $P$  сообщает судну по прямому направлению значительную скорость. Как видно из чертежа, судно может идти по направлению  $MM'$ , почти *противоположному течения*. Легко видеть также, что ориентируя судно относительно ветра по направлению, снимает рычажному с предыдущим *(направление)*, можно достигнуть упрямости, лежащей в направлении, совершенно противоположном ветру.



Фиг. 201.

Ручь  $MT$  служит для управления судном. Он представляет плоскую поверхность и подвешивается к корме на шарнирах. Для поворачивания ручья служат *ручьи* (длинный горизонтальный рычаг) или же вертикальное колесо, снабженное на окружности рукоятками и перемещающее движение ручья посредством цепи. Когда ручь находится в своем среднем положении он не действует. Но если повернуть ручь к левому или правому борту, то и судно повернется в ту же сторону. Действительно, дающие  $N$  на ручь, являются с сопротивлением воды, может быть разложено на две составляющие  $N_1$  — по направлению движения, и  $N_2$  — перпендикулярно к нему. Первая увеличивает сопротивление движению, вторая поворачивает судно около вертикальной оси, проходящей через  $n$ , тяжести, справа налево.

Если таторить ветра или по какой либо другой причине судно будет выведен из своего положения равновесия то оно получает качающее движение. Такое качающее движение состоит или из колебаний около поперечной оси, параллельной киле <sup>1)</sup> (*боковая качка*), или из колебаний его около горизонтальной оси перпендикулярной к киле (*килевая качка*), или, наконец, из качания около вертикальной оси (*клевания*).

Что касается величины площади парусов, то она рассчитывается по условию наибольшей возможной скорости судна. Так как давление ветра пропорционально площади  $F$  паруса, а сопротивление воды пропорционально площади  $S$  миделева сечения, то скорость судна очевидно будет некоторая функция отношения  $\frac{F}{S}$ . Для обыкновенных торговых кораблей это отношение колеблется от 27 до 30; а для быстроходных судов (клиперов) оно доходит до 42.

### ЗАДАЧИ.

86. Ветряное колесо с 4 крыльями (трапециевидной формы) вращается при порыве ветра 30 оборотов в минуту; длина крыла 12 м, поверхность крыла — 20 кв. м. Определить 1) полезную работу (в пар. л.) и 2) число оборотов колеса при условии наименьшего для тора.

87. Определить диаметр американского ветряного колеса по следующим данным:  $N = 10$  пар. л., скорость ветра  $c = 7$  м.

<sup>1)</sup> Килем называется толстый брус идущий вдоль средней линии судна и служащий для укрѣпления ребер или *шпангоутов*.

## ГЛАВА X.

## Паровые котлы.

Процессъ парообразованія. — Насыщенный и перегрѣтый паръ — Зависимость упругости насыщеннаго пара отъ температуры — Количество теплоты, необходимое для образованія пара. — Общій составъ пароваго котла — Печи паровыхъ котловъ — Топка. — Топка Тенбрика — Форсушка Ленца — Колосниковая рѣшетка — Дымоходы. — Дымовая труба — Топливо и его теплотворная способность. — Материалъ для котловъ. — Форма котловъ. — Поверхность нагрева, водяная и огненная черта. — Водяное и паровое пространства котла. — Толщина стѣнокъ котла. — Полезное дѣйствіе паровыхъ котловъ, расходъ топлива. — Осадки въ паровомъ котлѣ и средства противъ нихъ. — Подраздѣленіе паровыхъ котловъ. — Простой цилиндрическій котель. — Котель съ кипятивильниками. — Котель съ нагревательными трубами. — Коринѣйскій и ланкаширскій котлы. — Котель Гадловая. — Трубочные котлы. — Локомотивный котель. — Пароходный котель. — Котель Фильда. — Котлы Бельвиля и Руты. — Причины вариванія котловъ. — Проба котловъ. — Арматура котловъ: пробные краны, водомерное стекло, сигнальный поплавокъ, манометры, предохранительный клапанъ, питательный насосъ, инжекторы. — Подграватель. — Паровой куполь, лязъ и люки, теплопроводныя трубы. — Створный и поворотный клапаны. — Водоспускной кранъ. — Уходъ за котломъ. — Задачи.

**215. Процессъ парообразованія.** Паровой котель есть герметическій закрытый металлическій сосудъ, служащій для образованія пара надлежащей упругости, при посредствѣ котораго производится въ паровыхъ машинахъ преобразованіе теплоты въ механическую работы.

При нагреваніи воды въ котлѣ теплота (*явная*) расходуется въ началѣ на *повышеніе ея температуры*, т. е. на увеличеніе видимой живой силы молекулярнаго движенія. Съ того момента какъ температура воды достигнетъ  $100^{\circ}\text{C}$ . начинается *кипѣніе воды* — образованіе пара, пузырьки котораго, выдѣляясь во всей массѣ воды, приводятъ ее въ бурное движеніе. теплота (*скрытая*) расходуется на разъединеніе молекулъ (на внутреннюю работу); она содержится въ парѣ въ видѣ потенциальной энергіи разъединенныхъ молекулъ, которая при охлажденіи пара (*конденсаци*) вновь преобразуется въ явную теплоту.

Какъ и всѣ газы, водяной паръ производитъ *давленіе* на стѣнки сосуда (котла), въ которомъ онъ заключенъ; это давленіе, какъ извѣстно, обусловливается стремленіемъ пара занять по возможности болѣе большой объемъ, вслѣдствіе чего частицы его производятъ удары на стѣнки котла, служаще дѣйствительной причиною *давленія* или *упругости* пара. Такъ какъ въ началѣ парообразованія паръ долженъ преодолѣвать лишь сопротивленіе воздуха, заключающагося въ котлѣ, то его упругость равна *одной атмосферѣ* (1 klг. на кв. сант.), чему соответствуетъ температура воды  $100^{\circ}\text{C}$ .

Опытъ показываетъ, что до тѣхъ поръ, пока паровое пространство котла не наполнится наибольшимъ возможнымъ количествомъ пара (пока не *насытится* паромъ), температура воды и пара будетъ равна  $100^{\circ}\text{C}$ , а давление пара—1 атм., но съ момента насыщения температура воды непрерывно увеличивается, вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается *плотность* пара въ паровомъ пространствѣ (а, слѣд., и всѣхъ ед. его объема) и его *упругость*, но послѣдняя возрастаетъ гораздо быстрее температуры.

**216. Насыщенный и перегрѣтый паръ** Водяной паръ бываетъ *насыщенный* и *перегрѣтый*. *Насыщеннымъ* наз. паръ, находящійся въ постоянномъ прикосновеніи съ водою, изъ которой онъ образовался, а *перегрѣтымъ*—паръ, отдѣленный отъ воды.

*Давление* (упругость) насыщеннаго пара *зависитъ только отъ температуры* его, но не зависитъ отъ величины объема, имъ занимаемаго. Если увеличить этотъ объемъ, то изъ воды образуется новое количество пара той же упругости; если же уменьшить, то часть пара обратится снова въ воду, и *упругость* его *останется та же*, если только температура въ обоихъ случаяхъ не измѣняется.

Положимъ теперь, что мы впустили въ цилиндръ 1 литръ насыщеннаго пара и заставляемъ его расширяться при тѣхъ же условіяхъ, какъ и прежде, т. е. при постоянной температурѣ. Опытъ показываетъ, что съ увеличеніемъ объема *давленіе такого пара*, отдѣленнаго отъ воды, *будетъ уменьшаться*, слѣд., по закону *Бойля-Мариотта*,  $p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{Const.}$ , т. е. *давленіе* (при постоянной температурѣ) *будетъ измѣняться обратнопропорционально объему*. Это ненагрѣтый или *перегрѣтый* паръ. Перегрѣтымъ онъ наз. потому, что *при одинаковой упругости съ насыщеннымъ паромъ онъ имѣетъ болѣе высокую температуру*. Напр., если впустимъ въ цилиндръ литръ (1 литръ = 1 куб. деп.) насыщеннаго пара упругостью въ 5 атм. (слѣд., температурою въ  $152.22^{\circ}\text{C}$ ), и заставимъ его расширяться (сохраняя температуру цилиндра  $152.22^{\circ}$ ) вдвое, то упругость уменьшится вдвое, т. е. будетъ 2,5 атм. при температурѣ  $152.22^{\circ}$ , между тѣмъ какъ насыщенный паръ достигаетъ этой упругости уже при  $127.4^{\circ}\text{C}$ . Если затѣмъ впустимъ въ цилиндръ немного воды (сохраняя температуру цилиндра  $152.22^{\circ}$ ), то вновь образуется столько пара, что давленіе снова сдѣлается 5 атм.; слѣд., это былъ паръ, ненасыщающій пространство.

При одинаковой температурѣ съ *перегрѣтымъ паромъ насыщенный паръ имѣетъ всегда болѣеую упругость*.

**217. Зависимость упругости насыщеннаго пара отъ температуры.** Изслѣдованіе свойствъ насыщеннаго пара представляетъ особый интересъ, потому что въ настоящее время въ паровыхъ машинахъ употребляется почти исключительно такой паръ. Какъ было сказано выше, давленіе насыщеннаго пара зависитъ только отъ температуры, но математическая формула, выражающая строго законъ

этой зависимости, до сихъ поръ неизвѣстна. *Рембо*, помощью весьма точныхъ опытовъ, проверенныхъ и подтвержденныхъ *Майнсомъ* составилъ таблицу упругостей, которую приводимъ въ сокращеніи.

Въ атмо-сферахъ	Упругость насы-щенного пара.		Температура по Цельсію.	Въсѣ 1 куб. метра въ klg.	Въ атмо-сферахъ	Упругость насы-щенного пара.		Температура по Цельсію.	Въсѣ 1 куб. метра въ klg.
	въ килогр. на кв. метрѣ.					въ килогр. на кв. метрѣ.			
0,1	1083,4	46,21	0,0687	5	51670,0	152,22	2,7500		
0,2	2066,8	60,45	0,1326	5,5	56837,0	155,85	3,0073		
0,5	5167,0	81,71	0,3153	6	63004,0	159,22	3,2632		
1	10334,0	100,00	0,8059	7	72333,0	165,34	3,7711		
1,5	15501,0	111,74	0,8874	8	82672,0	170,81	4,2745		
2	20668,0	120,60	1,1631	9	93006,0	175,77	4,7741		
2,5	25835,0	127,80	1,4345	10	103340,0	180,31	5,2704		
3	31002,0	133,91	1,7024	11	113674,0	184,50	5,7636		
3,5	36169,0	139,24	1,9676	12	124008,0	188,41	6,2543		
4	41336,0	144,00	2,2303	13	134342,0	192,08	6,7424		
4,5	46503,0	148,29	2,4911	14	144676,0	195,58	7,2283		

**218. Количество теплоты, необходимое для образованія пара.** Количество теплоты, необходимое для обращенія одного килограмма воды при температурѣ  $0^{\circ}$  въ насыщенный паръ температуры  $t$  можетъ быть выражено, согласно опытамъ *Рембо*, слѣдующею формулою:

$$Q = 606,5 + 0,305t. \quad . \quad . \quad . \quad (70).$$

Это количество теплоты состоитъ изъ двухъ частей: изъ части  $q$ , затрачиваемой на нагреваніе воды отъ  $0^{\circ}$  до  $t$  и равной  $ct$ , гдѣ  $c=1$  есть *теплоемкость воды*, и части  $Q_0$ , затрачиваемой на обращеніе воды, имѣющей температуру  $t$ , въ насыщенный паръ той же температуры. Это есть *скрытая теплота парообразованія*, существующая въ видѣ потенциальной энергіи молекулярнаго раздѣленія. Такимъ образомъ:  $Q = q + Q_0$ , откуда  $Q_0 = Q - q$ , или  $Q_0 = 606,5 + 0,305t - t$ , или  $Q_0 = 606,5 - 0,695t$ , откуда видно, что скрытая теплота парообразованія уменьшается съ увеличеніемъ температуры.

Въ слѣдующей таблицѣ вычислены количества теплоты, необходимой для образованія изъ воды при  $0^{\circ}$  1 klg. пара упругостью:

1 атм.; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10;  
637,0 к., 643,3; 647,3; 650,4; 652,9; 655,0; 656,9; 658,5; 660,0; 661,5.

Изъ этой таблицы видно, что количества теплоты, потребныя для образованія 1 klg. пара различной упругости почти одинаковы. Но совершенно иное заключеніе должно сдѣлать, если относить количество теплоты къ единицѣ объема чѣмъ выше упругость пара,



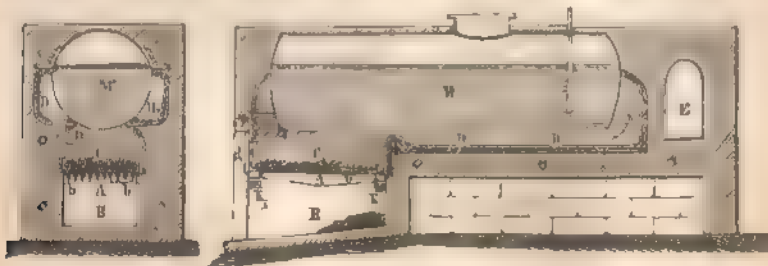
тѣмъ больше количество теплоты, необходимое для образованія 1 куб. метра пара, ибо съ увеличеніемъ упругости значительно увеличивается вѣсъ куб. единицы пара

**219 Общій составъ пароваго котла.** Во всякомъ паровомъ котлѣ различаютъ слѣдующія три части 1) *печь для котла*, 2) *собственно котелъ*, т. е. аппаратъ, имѣющій назначеніе доставлять въ теченіе опредѣленнаго времени требуемое количество пара данной упругости, 3) *арматура или принадлежности котла*, т. е. приборы, необходимые для надзора за правильнымъ дѣйствіемъ котла и для питанія его: приборы для указанія уровня воды въ котлѣ, упругости пара, питательные приборы и т. п.

### А. Печи паровыхъ котловъ.

**220. Части печи.** Устройство печи для котла, размѣры ея частей имѣютъ для экономическаго употребленія топлива и для правильнаго хода парообразованія не меньшее значеніе, чѣмъ устройство самого котла.

Печь состоитъ изъ слѣдующихъ частей *топки*, *дымовыхъ ходовъ* и *дымовой трубы*. *Топкою* или *огневымъ* наз. камера, устраиваемая подъ переднюю часть котла и назначаемая для сжиганія топлива. Она заключаетъ въ себѣ: 1) *рѣшетку* А (фиг. 202), на которую кладется горючій матеріалъ. Рѣшетка состоитъ изъ ряда чугунныхъ брусковъ в, в... наз. *колосниками* и уложенныхъ другъ около друга на чугунныя же полосы к, 2) *зольникъ* или *поддувало* В,



Фиг. 202

т. е. нижнюю часть топки, расположенную подъ рѣшеткою. Черезъ поддувало проходитъ воздухъ, необходимый для горѣнія топлива, и въ немъ же скопляется зола и шлаки, падающіе черезъ отверстія рѣшетки. Иногда устраиваютъ у зольника дверцы, которыя закрываются на время остановки котла, съ цѣлью предупрежденія тока холоднаго воздуха (даже при закрытой заслонкѣ) и охлажденія котла во время остановки, 3) *топочное пространство*, *огневою ка-*



меру или горня С, находящийся над рѣшеткою и закрытый герметически *оверцами* d, черезъ которые забрасывается топливо на рѣшетку.

*Дымоходы* D, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>... служатъ для отвода въ дымовую трубу продуктовъ горѣнія, которые, соприкасаясь со стѣнками котла, отдають имъ тѣмъ большую часть теплоты, чѣмъ длиннѣе дымовые обороты, но при вступленіи въ трубу должны имѣть опредѣленную температуру, соответствующую хорошей *тягѣ* воздуха, отъ которой зависитъ ходъ печи. Продукты горѣнія, образующіеся въ топкѣ С, проходятъ сначала по первому дымоходу D, и цѣпью по дѣломъ изъ него поступаютъ въ лѣвый каналъ D<sub>1</sub>, изъ котораго обогнувъ переднее днище, поступаютъ въ послѣдній (правый) дымоходъ D<sub>2</sub>. Передъ 1-мъ дымоходомъ за рѣшеткою долженъ быть устроенъ невысокій *порогъ* (K), служащій для достиженія возможно полнаго *смысlenia* *горючихъ газовъ* съ притекающимъ воздухомъ. Послѣдній дымоходъ соединяется съ трубою особымъ каналомъ E, наз. *бороздой*; въ немъ помѣщается обыкновенно *заслонка* или *регуляторъ*, служащій для управленія тягою.

Печь кладется изъ обыкновеннаго кирпича на глину, а внутренняя облицовка тонки и дымовыхъ ходовъ дѣлается изъ огнеупорнаго кирпича и на огнеупорной же глинѣ. Весьма нерѣдко въ стѣнкахъ печи дѣлаются пустоты, служащія для *тяги* печи, т. е. для свободнаго расширенія во время нагреванія. Наконецъ, вся печь ставится аркадными и поперечными тѣлами, увеличивающими ея прочность.

**221. Топка.** Устройство и размѣры топки зависятъ отъ рода и количества сжигаемаго въ ней топлива. Последнее бываетъ *твердымъ* (каменный уголь, антрацитъ, торфъ, дрова, солома для локомотивовъ), *жидкимъ* (нефть) и *газообразное* (горючие газы, главнымъ образомъ окиси углерода, получаемые черезъ несовершенное сжиганіе топлива при недостаточномъ доступѣ воздуха—въ особаго рода топкахъ, наз. *газовыми* или *инсерторами*).

На фиг. 202 представлена обыкновенная топка съ *колошниковою рѣшеткою* для твердаго топлива. Вместимость *печи* должна быть достаточна для возможно полнаго смысlenia съ воздухомъ горючихъ газовъ, выделяющихся при горѣніи топлива. Во избѣжаніе слишкомъ сильнаго дѣйствія пламени на нижній шитъ котла, который скоро все же твердеетъ прогораніемъ, высота горня надъ рѣшеткою дѣлается *для дровъ* отъ 0,3 до 0,6 м., а для *каменнаго угля* отъ 0,4 до 0,5 м.

*Порогъ*, устраиваемый изъ огнеупорнаго кирпича) при самомъ началѣ дымохода для наиболѣе полнаго смысlenia горючихъ газовъ съ кислородомъ воздуха, отстоитъ на 20—30 см. отъ котла. Такъ какъ надъ порогомъ концентрируется самый сильный жаръ, то надъ нимъ не должно быть застѣпчатаго шва, во избѣжаніе бл-

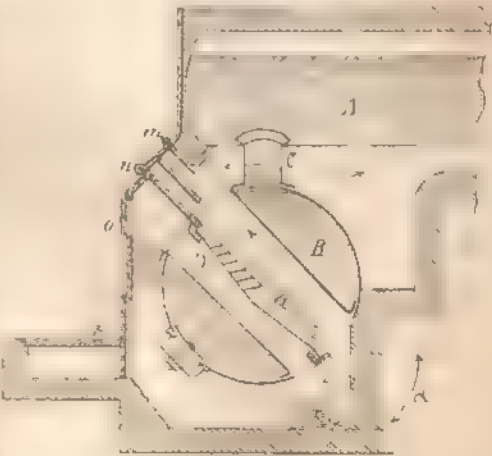
страго перегоранія заклепочныхъ головокъ и края листа, слѣдствіемъ чего явится течъ.

*Топочныя оверцы* дѣлаются чаще всего изъ чугуна—двойныя, для предупрежденія накаливанія наружныхъ створокъ, внутренняя пластинка прирѣзывается къ наружнымъ дверцамъ посредствомъ заклепочъ, вставленныхъ въ *распорныя шпайки* длиной въ 2". Дверцы дѣлаются *одностворчатыми* или *двустворчатыми* и подвѣшиваются на петли къ *чугунной рамѣ* (фиг. 213), которая прикрѣпляется болтами къ передней стѣнкѣ печи. Дверцы должны *притискиваться* закрывая отверстие, во избежаніе тока холоднаго воздуха, вредно влияющаго на котель. съ этою цѣлю соприкасающіяся части должны быть тщательно притерганы. Во время питанія топливомъ дверцы должны быть открыты лишь на самое короткое время, необходимое для подбрасыванія топлива.

*Зольникъ* дѣлается обыкновенно *открытымъ*, но нередко снабжается также *шторками*, служащими для регулированія тяги и главное для сохраненія тепла въ печи во время остановки котла на ночь. Глубина зольника дѣлается отъ 0,8 до 1 м., во избежаніе скарлатнаго накопленія золь и шлаковъ, слѣдствіемъ котораго является ослабленіе тяги и накаливаніе колосниковъ, дѣйствіемъ жары, исходящаго отъ выходящихъ шлаковъ и золь.

222. *Топка Гембрина* фи. 203. Эта топка принадлежитъ къ числу *поушловыхъ* топковъ, сжигающихъ топливо наиболее экономически и почти безъ дыма.

Колосниковая рѣшетка *а*, наклонная подъ угломъ  $45^{\circ}$ — $50^{\circ}$ , помѣщается въ трубѣ *В*, закрывающей къ горизонтальному цилиндру *В*, который приключенъ къ главному котлу *А* помощью двухъ рукавовъ *С*. Колосники снабжены въ верхней части своей горизонтальными ступенчатыми ребрами, для предупрежденія потери мелкаго еще не сгорѣвшаго угля, а также для ограниченія притока свѣжаго воздуха въ верхней части рѣшетки. Порогомъ здѣсь служитъ верхній край трубы *В*; дѣятельная циркуляція воды предохраняетъ его отъ прогоранія. Нагрузка топлива производится черезъ дверцы *п*. Зольниковыя дверцы р. бывають открыты только во время выгребанія золь. Тяга регулируется заслонкою *О*. Наконецъ клапанъ *и*, вращающійся около горизонтальной оси и устанавливаемый при помощи подъемнаго винта, служитъ для регулированія впуска свѣжаго воздуха надъ порогомъ, для окончательнаго сжиганія горячихъ газовъ. Его



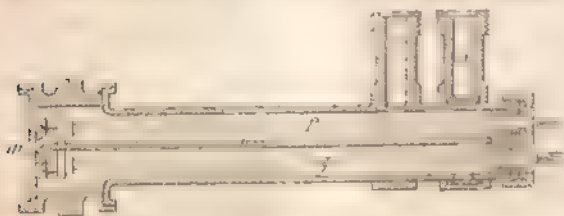
Фиг. 203.

поднимаютъ при помощи *установочнаго винта* до тѣхъ поръ, пока изъ дымовой трубы не прекратится отдѣленіе густаго дыма. Струя воздуха, протекающая черезъ отверстие т., направляется какъ разъ на вѣтрѣчу горючихъ газамъ, поднимающимся съ рѣшетки, въѣдствие чего протекать ихъ тѣсное сѣшеніе съ кислородомъ воздуха и полное сгораніе.

*Топка Гейбрикки* была вначалѣ предложена для локомотивовъ, но въ настоящее время, благодаря значительной экономіи топлива, доставляемой ею (1 кг. каменнаго угля испаряетъ на ней до 9 кг. воды), она употребляется очень часто и при постоянныхъ котлахъ. Недостатокъ ея заключается въ томъ, что колосники прогораютъ значительно быстрѣе нежели въ обыкновенной топкѣ, въѣдствие высокой температуры, развивающейся въ ней (до 1500° С).

**223. Форсушка Ленца.** Отопленіе паровыхъ котловъ нефтяными остатками получило начало въ Америкѣ. До 1866 г. способы сжиганія нефти отличались крайнимъ несовершенствомъ. Въ этомъ году былъ впервые примененъ америк. *Зивонъ* способъ *пулверизации* нефти. Въ 1871 г. *Ленцъ*, слесарь въ Бюку, построилъ пулверизаторъ или *форсушку*, которая съ успѣхомъ дѣйствуетъ у насъ на всемъ Каспійскомъ морѣ и на Волгѣ.

Принципъ форсушки (маленькихъ пароструйныхъ насосовъ) состоитъ въ томъ, что струя пара, всасавъ нефть, разбиваетъ ее на мельчайшія брызги, которые сгораютъ въ топкѣ безъ всякаго остатка. Форсушка Ленца (фиг. 204) состоитъ изъ чугуннаго цилиндра (а), раздѣленнаго продольное пер-



Фиг. 204.

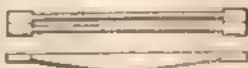
регородкою и на двѣ части; въ верхней текутъ нефтяныя остатки (поступающіе по трубѣ с), въ нижней — паръ, поступающій по трубѣ а. Въ выходномъ отверстіи т обѣ струи пересѣкаются подъ угломъ, при чемъ струя нефти разбивается на мельчайш. брызги. Для

регулируванія притока нефти и пара служатъ двѣ заслонки, приводимыя въ движеніе валичковыми концами двухъ валиковъ р и q.

Отопленіе нефтяными остатками представляетъ сравнительно съ твердымъ топливомъ, слѣдующія преимущества: 1) теплотворная способность нефти почти въ два раза больше теплотворной способности каменнаго угля, что имѣетъ важное значеніе для передвижныхъ машинъ (въ особенности пароходовъ), ибо позволяетъ дѣлать меньшій запасъ топлива, а это въ свою очередь ведетъ къ сбереженію явста. 2) отсутствіе золь; 3) автоматическое плавленіе топлива напоромъ. Главный же недостатокъ нефтянаго отопленія состоитъ въ томъ, что въѣдствие большаго жара, развивающагося въ топкѣ, топчанія скоро перегораютъ (котлы съ форсушками служатъ не болѣе 8 лѣтъ).

**224 Колосниковая рѣшетка.** Колосниковая рѣшетка служитъ для сжиганія топлива при свободномъ доступѣ воздуха и безпрятствителномъ отдѣленіи золь и шлаковъ. Сл. згою цѣлью рѣшетка дѣлается изъ отдѣльныхъ чугунныхъ (иногда желѣзныхъ — въ металлургическихъ печахъ, локомотивахъ) брусковъ (*колосниковъ*), снабженныхъ небольшими боковыми выступами по концамъ и по серединѣ для образованія щелей, необходимыхъ для притока воздуха и отдѣленія золь. Колосникамъ придается обыкновенно

форма тѣлъ равнаго сопротивленія изгибу (фиг. 205) съ трапеци-  
дальнымъ поперечнымъ сѣченіемъ для свободнаго отдѣленія золы,  
а также для надлежащаго охлажденія колосниковъ струями холод-  
наго воздуха. Колосники располагаются на желѣзныхъ или чугу-  
нныхъ поперечныхъ брусьяхъ, закладываемыхъ концами въ кладку.  
Между концами колосниковъ и стѣнками топки оставляются не-  
большие зазоры для свободнаго удлиненія первыхъ. Иногда концы  
колосниковъ сканчиваютъ, для того чтобы при  
удлинении последнихъ они какъ клиномъ, вы-  
жимали постороннія тѣла, попавшія въ за-  
зоръ (шлакъ, золу, мелкій уголь). Колосники  
дѣлаются толщиной отъ 2 до 3 сант. и имѣ-  
ютъ на концахъ припавы высотой около 1", толщиной колосниковъ,  
такъ что между последними образуется зазоръ шириною въ 1/3 дѣ-  
толщины. Наибольшая длина колосниковъ — 1,1 м.



Фиг. 205.

Размеры рѣшетки зависятъ отъ количества и качества топлива, кото-  
рое пужно на ней сжечь, а также отъ скорости горѣнія, которая обуса-  
вляется тягою. Можно принять, что въ постоянныхъ котлахъ при тягѣ,  
производимой обыкновенными дымовыми трубами, слѣд. при умеренномъ  
горѣніи, можно сжечь на каждомъ кв. метрѣ рѣшетки въ часѣ угля отъ  
70 до 80 кг., а дровъ отъ 90 до 100 кг. При сильной тягѣ, какъ напр.,  
въ локомотивахъ, въ которыхъ тяга производится выпускомъ мѣтала пара  
въ дымовую трубу, можно принять, что на каждомъ кв. м. рѣшетки сжи-  
гается около 250 кг. угля въ часѣ. Зная количество угля, расходуемое  
котломъ въ часѣ, не трудно по этимъ даннымъ опредѣлить площадь рѣ-  
шетки. Называл ее буквою  $s$  и буквою  $p$  въ сѣ сжигаемаго въ часѣ угля,  
будемъ имѣть: 1) для постоянныхъ и пароходныхъ машинъ  $s = \frac{p}{70}$  кв. м.;

2) для локомотивовъ  $s = \frac{p}{250}$  кв. м. Количество же угля, необходимое для  
дѣйствія котла въ часѣ опредѣляется по количеству пара, расходуемаго  
машиною въ то же время (с. 209). Рѣсетки даютъ обыкновенно видъ пря-  
моугольника; длина ея дѣлается около 1/3 длины котла, но не должна быть,  
въ видахъ удобства управленія топкою, болѣе 2 м.; ширина же дѣлается  
равною диаметру котла. Площадь промежутковъ между колосниками со-  
ставляетъ для угля отъ 1/3 до 1/2, а для дровъ отъ 1/6 до 1/3 всей площади  
рѣшетки.

Примѣръ. Машина расходуетъ 1120 кг. пара въ часѣ. Хорошій котелъ  
при сгорѣніи угля даетъ на 1 кг. угля 7 кг. пара, слѣд. на рѣсеткѣ  
должно сгорать въ часѣ 160 кг. угля. Площадь рѣшетки  $s = \frac{1120}{70} = 2,286$

кв. м. Площадь зазоровъ  $\frac{1}{3} \cdot 2,286 = 0,5715$  кв. м. Пусть диаметръ котла  
 $D = 1$  м., тогда  $s = 2,286 - 0,5715$  откуда длина рѣшетки  $l = 2,286$  м. Но предѣ-  
льная длина колосниковъ 1,4 м. слѣд. колосники должны быть уложены  
въ 2 ряда, длина колосниковъ 1,143 м. Толщина ихъ 2,5 с. Число ихъ въ  
одномъ ряду 29.

**225. Дымоходы.** Расположеніе дымовыхъ ходовъ зависитъ отъ  
устройства котла. Поперечное сѣченіе ихъ (обыкновенно прямоуголь-  
ное) должно быть одно и то же на всей ихъ длинѣ и равно пло-

щине прозоровъ решетки. Общая длина всехъ дымоходовъ не должна превосходить 30 м., въ противномъ случаѣ тяга будетъ слишкомъ затруднена. Противъ каждого дымохода должно существовать въ кирпичной кладкѣ *отверстие*, герметически запирающееся и служащее для очистки хода отъ сажи и золы.

## 226. Дымовая труба (фиг. 206.)



Фиг. 206

Дымовая труба имѣетъ весьма важное значеніе въ устройствѣ печи, отъ нея главнымъ образомъ зависитъ ходъ печи. Труба состоитъ изъ стѣны, наполненной газами, температура которыхъ значительно выше температуры наружнаго воздуха. Поэтому давленіе наружнаго воздуха на слой, лежащій надъ решеткою, больше обратнаго давленія воздуха на величину разности между весомъ столба наружнаго воздуха, поднимающаго объемъ, равный объему трубы, и весомъ столба продуктовъ горѣнія, находящихъ въ трубѣ. Эта разность давленій и производитъ *тяги* воздуха, заставляя его проходить сквозь слой топлива и подниматься по трубѣ, преодолевая всѣ въ трубѣ находящіяся въ печи и трубѣ сопротивленія. Мелко, что чѣмъ выше труба, тѣмъ больше будетъ разность давленій, тѣмъ сильнее тяга воздуха и тѣмъ быстрее будетъ проходить горѣніе. Сила тяги зависитъ также отъ температуры дыма находящагося въ трубѣ, чѣмъ ниже эта температура, тѣмъ выше должна быть труба при одинаковомъ объемѣ дыма и при томъ же поперечномъ сѣченіи трубы.

Для обрѣзки хорошей тяги труба должна имѣть надлежаще размѣры т. е. высоту и поперечное сѣченіе, черезъ которое долженъ проходить въ секунду опредѣленный объемъ  $W$  продуктовъ горѣнія. Называя буквою  $F$  площадь верхняго отверстия трубы и буквою  $v$  скорость дыма при выходѣ изъ трубы, будемъ имѣть  $W = Fv$ . Какъ показываютъ вычисления и опыты, скорость  $v$  пропорциональна корню квадратному изъ высоты  $H$  трубы и разности  $t' - t$  температуръ внутри трубы и наружнаго воздуха. Величина ея можетъ быть представлена слѣдующею формулою (*Пекле*):

$$v = 0.1124 \sqrt{H(t' - t)} \text{ фут.}$$

Слѣдовательно

$$W = 0.1124 F \sqrt{H(t' - t)}.$$

Изъ этой формулы видно, что наибольшее влияние на силу тяги имѣетъ сѣченіе трубы. По наблюденіямъ *Пекле*, наиболѣе удобная температура газовъ въ трубѣ (для вароваго котла) равна  $300^\circ$ . Принимая среднюю температуру наружнаго воздуха  $= 10^\circ$ , получимъ  $t' - t = 290^\circ$ . Обыкновенная высота фабричныхъ трубъ имѣетъ



высотъ отъ 60 до 120 фут. <sup>1)</sup> Имѣя эти данныя и зная объемъ W газовъ (§ 227) можно опредѣлить изъ последней формулы величину площади F верхняго отверстія трубы Въ практикѣ площади отверстія трубы даютъ обыкновенно величину, равную площади дымоходовъ.

Дымовыя трубы строятся изъ кирпича или изъ листового жести. Для болышей устойчивости, кирпичныя трубы получаютъ снаружи пирамидальную или коническую форму. Обыкновенно толщина стѣнокъ сверху 1 1/2 кирпича внизу 2 3/4 кирпича. Наклонъ наружныхъ стѣнокъ (дѣлается отъ 0,01 до 0,02). Такъ какъ въ трубу весьма значителенъ то отъ требують прочныхъ фундаментовъ, во избежаніе неравномерной осадки, могущей повлечь за собою наклонъ и даже паденіе трубы.

Въ рѣдкѣ случаяхъ, когда оказывается невозможнымъ устроить трубу надлежащей высоты производить *искусственную тягу* особыми средствами. Такъ, напр., въ локомотивахъ тяга производится струею пара, выпускаемаго въ трубу изъ паровыхъ цилиндровъ; на большихъ военныхъ пароходахъ и при сжаренныхъ печахъ — *воздушными машинками* или *вентиляторами*, которые производятъ тягу воздуха подъ рѣшетку. Въ последнее время стали входить въ употребленіе для этой цѣли *паротурбинныя вентиляторы Кертинга*, которые устанавливаются иногда въ самой трубѣ и въ этомъ случаѣ дѣйствуютъ всасываніемъ.

**§ 227. Топливо и его теплотворная способность. Объемы воздуха, необходимаго для горѣнія, и продуктовъ горѣнія.**

Какъ было сказано въ § 221, для отопленія паровыхъ котловъ употребляютъ *твердое, жидкое и газообразное топливо*. Изъ *твердыхъ топливъ* употребляются преимущественно, *каменный уголь, антрацитъ, дрова, торфъ, тростъ и солома*. Последние имѣютъ примѣненіе, какъ *топливо*, только въ сельскомъ хозяйствѣ для отопленія локомотивовъ. Представляютъ *жидкое топливо* служить *нефть* (вторичныя нефтяныя остатки). Что касается *газообразнаго топлива*, то въ натуральномъ видѣ оно встрѣчается только въ Америкѣ — въ Пенсильваніи, гдѣ въ мѣстностяхъ, изобилующихъ нефтью, имѣется много скважинъ, изъ которыхъ выдѣляется горючій газъ. Искусственнымъ путемъ горючіе газы получаютъ черезъ несовершенное сжиганіе твердыхъ топливъ въ особыхъ топкахъ, назъ *ге-*

<sup>1)</sup> Бойе высотки трубы представляютъ рѣдкія исключенія. Труба кронштадскаго пароводнаго завода имѣетъ высоту 217 1/2 ф., отъ поверхности земли до вершины изъ этого числа 36 1/2 ф. принадлежать pedestalу. Бuto вый фундаментъ заложить на разстояніи, на свѣхъ, на 8 фут. ниже поверхности земли Часті pedestalа, начиная отъ грунту воды (5 ф. выше пав. землю) и до 12 1/2 ф. выше землю, сложена изъ гранита. Остальная часть pedestalа и вся труба изъ кирпича. Внѣшняя и внутр. форма трубы — 8 гр. пирамида. Наружная ширина ея у вершины pedestalа 22 ф., а толщина стѣнокъ 5 ф. у вершины толщина стѣны 1 1/2 ф., а внутр. поперечникъ 8 1/2 ф.



*наторами*, изъ которыхъ газъ подводится трубою къ топкѣ котла, гдѣ и сжигается. Котлы, находящиеся вблизи доменныхъ печей, отопляются терившимися газами этихъ печей, содержащими большое количество окиси углерода. Газы, выделяющіеся изъ колошника доменной печи улавливаются воронкою, изъ которой проводятся въ топку котла трубою. На желѣзодѣлательныхъ заводахъ для отопленія паровыхъ котловъ пользуются горящимся жаромъ дудлняговыхъ, сварочныхъ, казильныхъ и т. п. печей, т. е. теплотой продуктовъ горѣнія (малогорючихъ), выходящихъ изъ этихъ печей съ температурою около  $600-700^{\circ}\text{C}$ .

Достоинство топлива определяется его *теплотворною* способностью, т. е. количествомъ теплоты, развивающейся при горѣніи единицы вѣса топлива. Всякое топливо состоитъ изъ органическихъ веществъ, представляющихъ собственно горючій матеріалъ, и большаго или меньшаго количества неорганическихъ примѣсей, которыя при сгораніи остаются въ видѣ золы. Кроме того, всѣ эти роды топлива содержатъ въ себѣ различное количество гидроокисной воды. Вслѣдствіе неоднородности химическаго состава различныхъ родовъ топлива происходятъ различія въ ихъ теплотворной способности, на которую особенно сильное влияние оказываетъ гидроокисная вода, послѣдняя при горѣніи обращается въ паръ и для этого требуетъ извѣстнаго количества теплоты, на которое уменьшается теплотворная способность топлива.

Во время дѣйствія топки сперва происходитъ сухая перегонка горючаго матеріала. Отделяющіеся при этомъ газы стораются, при достаточномъ доступѣ воздуха, въ воду и углекислоту, дѣйствіемъ пламени, отдѣляющагося отъ горящаго топлива.

Горѣніе можетъ быть двухъ родовъ: *полное* или *совершенное* и *неполное* или *несовершенное*. При горѣніи перваго рода горючій матеріалъ разбивается въ топкѣ количествомъ теплоты, какое показывать теоретическія вычисления, предполагающія, что всѣ составныя части топлива, способныя горѣть, соединяются съ кислородомъ воздуха въ полной пропорціи и не остаются безъ участія въ процессѣ горѣнія. При *несовершенномъ* сгораніи топлива, въ дѣли различается количество теплоты, меньшее теоретическаго. Внимательнѣе слѣдствіемъ неполнаго горѣнія является *отдѣленіе дыма*, который представляетъ смѣсь водяныхъ паровъ, мельчайшихъ частицъ угли и горючихъ газовъ, не принимавшихъ участія въ горѣніи. Образованіе дыма вредно еще въ томъ отношеніи, что онъ осаживается на стѣнахъ котла въ видѣ сажи, уменьшающей ихъ теплопроводность.

Большая или меньшая степень совершенства горѣнія зависитъ отъ количества припекающаго въ топку воздуха. Пусть  $P$  будетъ теоретическое *вѣсовое* количество воздуха, необходимаго для сгорания 1  $\text{Kgr}$ . топлива и  $T$  — теплотворная способность послѣдняго. По наблюденіямъ *Некелс* оказывается, что, какъ бы ни была устро-

ена печь, при теоретическомъ притокѣ воздуха горѣніе происходитъ неполное, вѣдѣние того, что нѣкоторая часть кислорода воздуха проходитъ черезъ нее, не принявъ участія въ процессѣ горѣнія. Поэтому въ печь вводятъ количество воздуха, большее теоретическаго. Изъ опытовъ слѣдуетъ, что при тягѣ воздуха въ количествѣ, равномъ 1,5 Р, въ топкѣ выделяется количество теплоты  $\approx 0,75 T$ , а при 3,5 Р горѣніе происходитъ почти полное, т. е. въ топкѣ выделяется  $T$  ед. теплоты и дыма почти нѣтъ. Изъ количества надѣлившейся теплоты нѣкоторая часть уносится продуктами горѣнія въ трубу. Эта потеря теплоты тѣмъ больше, чѣмъ больше количество притекающаго воздуха (при той же температурѣ въ трубѣ), она уменьшаетъ отчасти выгоды, представляемыя полнымъ горѣніемъ относительно развивающейся въ топкѣ теплоты. При известной температурѣ выходящихъ газовъ эти выгоды могутъ совершенно покрыться потерей теплоты въ трубѣ, такъ что въ экономическомъ отношеніи оба рода горѣнія (съ малымъ и большимъ притокомъ воздуха) могутъ казаться одинаково выгодными. Этотъ результатъ получается въ печахъ паровыхъ котловъ, въ которыхъ температура газовъ въ трубѣ равна  $300^{\circ} C$  <sup>1)</sup>.

Хотя въ экономическомъ отношеніи оба способа топки одинаковы, на практикѣ, въ паровыхъ котлахъ, обыкновенно примѣняется топка съ большимъ количествомъ воздуха около 2 разъ болѣе теоретическаго, такъ дающая менѣе дыма. Размѣры трубы должны быть размѣрены такимъ образомъ, чтобы она могла тянуть это количество воздуха, или другими словами, чтобы черезъ ея отверстіе выходило въ данное время то количество  $W$  продуктовъ горѣнія, которое образуется при сгораніи 1 klg. топлива.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены величины абсолютной теплотворной способности главныхъ родовъ топлива а также объемы воздуха и продуктовъ горѣнія.

<sup>1)</sup> Въ этомъ не трудно убѣдиться слѣдующимъ простымъ вычисленіемъ. При сгораніи 1 klg. каменнаго угля образуется  $(nR+1)$  klg. продуктъ въ горѣнія. Если температура ихъ въ моментъ оставленія печи  $\approx 1$ , то, принимая теплоемкость ихъ среднимъ числомъ  $\approx 0,24$ , найдемъ количество теплоты уносимой въ трубу  $(nR+1) \cdot 0,24 T$ . Поэтому количество теплоты, оставшейся въ печи, будетъ  $Q \approx kT = nR + 1 \cdot 0,24 T$ , гдѣ  $kT$  есть количество теплоты, развивающееся при сгораніи 1 klg. топлива. Величина  $k$  [ф. к. при  $n=1,5$  равна 0,75, а при  $n=3,5$  равна 1. По Пекле те ретиче кт количество воздуха, необходимаго для сгорания 1 klg. угля  $\approx 9,05$  куб. м. Цупанъ вѣсъ куб. м. его  $\approx 1,25$  klg. получимъ для угля  $R=1,3$  klg. Принявъ же для каменнаго угля, среднимъ числомъ  $T=7000$  ед. т., найдемъ при  $n=1,5$ ,  $Q=3957,6$  ед. т., а при  $n=3,5$   $Q=4080,4$  ед. т. е. оба количества теплоты, переданной печи, почти равны между собою.

Названіе топлива.	Тепло-творная способ-ность Т.	Практический объ-емъ воздуха, необ-ходимаго для горѣ-нія:		Объемъ продуктовъ горѣнія W (при 300°), объ-азующійся:	
		1 фунта въ куб. фут.	1 klg. въ куб. м.	изъ 1 фунта въ куб. ф.	изъ 1 klg. въ куб. м.
Дрова (съ 20% влажно-сти) . . . . .	2800	74	5,11636	175	12,09950
Торфа (съ 20% влажно-сти) . . . . .	3600	123	8,50122	275	19,01350
Лесинтъ (средняго ка-чества) . . . . .	4850	190	13,13660	215	14,86510
Каменный уголь (сред-няго качества) . . . . .	7000	240	16,59360	525	36,20850
Антрацитъ . . . . .	7500	240	17,28500	510	37,35560
Битумъ (съ 15% воды) . . . . .	6000	204	14,10156	428	29,59192

**Примѣры.** При давностяхъ примѣра § 224 объемъ воздуха, необходимаго для сжиганія 160 klg. угля — 2654,976 куб. м. въ часъ, а въ сек. 0,73749 куб. м. Объемъ продуктовъ сжиганія раздѣляющихся въ часъ — 5807,76 куб. м., а въ сек. 1,61326 куб. м. 56,97426 куб. ф. Примемъ высоту трубы = 0 ф., тогда площадь сѣверетин F —  $0,1124 \sqrt{\frac{160}{56,97426}}$  —  $0,1124 \sqrt{2,809} = 0,1124 \sqrt{10} = 0,3543$  кв. ф.

## В. Системы паровыхъ котловъ.

**228 Матеріалъ для котловъ.** Каждый котелъ долженъ удовле-творять слѣдующимъ условіямъ: 1) онъ долженъ быть непрони-цаемъ ни для воды, ни для пара; 2) онъ долженъ постоянно до-статьвать необходимое количество пара требуемой чистоты; 3) дол-женъ расходовать топливо наиболее экономно; 4) стѣнки его долж-ны представлять достаточное сопротивленіе ушатой силой махачепаго въ котлѣ пара.

Материаломъ для котловъ обыкновенно служатъ листовые же-лѣзо, рѣже сталь (мѣлка), еще рѣже (по причинѣ дороговизны) мѣдь и латунь. Чугунъ, не смотря на дешевизну, не употребляется для приотавленія котловъ по двумъ причинамъ: 1) вслѣдствіе срав-нительно слабой теплопроводности и 2) вслѣдствіе слабаго сопро-тивленія рапыву. По неопытности чугунахъ котловъ, а паче, какъ и во многихъ странахъ, даже закономъ запрещено строить котлы изъ чугуна.

Опытъ показываетъ, что сопротивленіе металла стѣнокъ котла темпепатуры паровъ значительно уменьшается. Такъ сопротивленіе

железа при 600°-700° (при темнокрасномъ каленіи, составляетъ лишь отъ  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{3}$  сопротивления его при обыкновенной температурѣ. Поэтому должно избѣгать накаливанія стѣнокъ котла во что бы то ни стало. Точно также вредны для прочности котла частыя и въ особенности быстрыя *измѣненія температуры*, стѣнки удлиняются и затѣмъ снова быстро сжимаются, причемъ *волокнистое строеніе листового железа измѣняется* во вредъ его прочности оно теряетъ свою тягучесть и становится хрупкимъ. Эти замѣчанія относятся въ особенности къ листамъ надъ рѣшеткою и порогами; листы эти скорѣе всего изнашиваются.

**229 Форма котловъ.** Паровые котлы имѣютъ обыкновенно *цилиндрическую* форму, которая представляется наилучшею въ отношеніи легкости изготовленія, при значительной прочности. Исключенія очень рѣдки (нѣкоторые типы паровозныхъ котловъ). Котлы состоятъ изъ отдѣльныхъ трубъ, которыя готовятся изъ одного или двухъ железныхъ листовъ, согнутыхъ въ цилиндрическую форму, края согнутыхъ листовъ накладываются одинъ на другой и склеиваются *продольнымъ рядомъ заклепокъ*, которыя пропускаются сквозь отверстія, пробитыя или протыченныя (что лучше) въ листахъ. Отдѣльныя трубы вставляются одна въ другую, для чего наружный диаметръ одной трубы долженъ быть больше внутренняго диаметра другой, и склеиваются *поперечнымъ рядомъ шпекеровъ*.

Хотя нажатіе листовъ другъ къ другу, производимое заклепками, обозначаетъ значительную плотность соединенія, однако заклепочные швы далеко не *герметичны* при гидравлической пробѣ хорошо склепанный котелъ течетъ по всѣмъ швамъ. Для притѣянія швамъ полной герметичности производится послѣ склейки *чеканка* листовъ въ швахъ. Чеканка заключается въ томъ, что особымъ инструментомъ, наз. *чеканомъ* (родъ зубила) проходятъ (съ помощью молотка) по скошеннымъ краямъ листа, вдавливая острый уголъ постыдного внутрь шва. Край листовъ обрѣзаются (наклонными ножницами) на острый уголъ (60° — 70°), а не прямой, съ цѣлью избѣжать вдавленныхъ желобковъ въ швъ послѣ чеканки. При большихъ котлахъ чеканка производится снаружи и внутри котла, при малыхъ же (нагрѣвательныя и жаровныя трубы и т. п.) — только снаружи.

*Днища котловъ* имѣютъ обыкновенно *выпуклую* форму, но нерѣдко *плоскую* (паровозныя, паровые и нѣкоторые фабричныя котлы). Въ послѣднемъ случаѣ для предупрежденія выпучиванія днища, ихъ скрѣпляютъ съ боковыми стѣнками котла помощью угольниковъ или тягъ (фиг. 211 и 215).

**230. Поверхность нагрѣва.** *Водяная и огненная черта.* *Поверхностно нагрѣва* наз. та часть поверхности котла, которая охватывается продуктами горѣнія топлива, на этой поверхности

происходить переходъ теплоты отъ продуктовъ горѣнія въ котель. По мѣрѣ движенія газовъ по дымовымъ оборотамъ температура ихъ (около  $1200^{\circ}$  въ топкѣ) все болѣе и болѣе понижается, но въ моментъ выхода изъ трубы должна быть около  $300^{\circ}$  C (§ 226) при меньшей температурѣ происходитъ дурная тяга: большая же температура влечетъ за собою безполезную потерю теплоты. Такъ какъ количество теплоты, передаваемой котлу, зависитъ отъ величины поверхности нагрева, то послѣдняя должна имѣть величину, достаточную для охлажденія продуктовъ горѣнія до  $300^{\circ}$  C. Чѣмъ больше поверхность нагрева, тѣмъ больше теплоты могутъ горячіе газы передать котлу, тѣмъ больше ихъ тепловое полезное дѣйствіе; другими словами, тѣмъ больше воды будетъ обращено въ паръ тѣмъ же количествомъ угля. Цѣль изобрѣтенія различныхъ системъ паровыхъ котловъ заключается главнымъ образомъ въ томъ, чтобы при тѣхъ же размѣрахъ получить большую поверхность нагрева.

Отъ величины поверхности нагрева прежде всего зависитъ количество пара, которое котель можетъ доставить въ определенное время, напр. въ часъ. Изъ опытовъ слѣдуетъ, что на каждомъ кв. м. поверхности нагрева испаряется вѣдъ въ часъ: 1) въ *постоянныхъ котлахъ* отъ 15 до 20 klg., 2) въ *паровозныхъ* отъ 27 до 35 klg. и 3) въ *локомотивныхъ* — 42 до 50 klg. Если напр., котель долженъ доставлять въ часъ 720 klg. пара, то его поверхность нагрева, при *паропроизводительности* въ 20 klg., должна быть равна 36 кв. м. Если бы котель имѣлъ большую поверхность нагрева, напр. 45 кв. м., то тѣ же 720 klg. пара будутъ получены съ болѣею легкостью, что поведетъ къ сбереженію и котла и топлива. Конечно, тѣ же 720 klg. пара могутъ быть доставлены котломъ, имѣющимъ меньшую поверхность нагрева, напр. 25 кв. м., но при условіи весьма цѣтельной топки (*форсированіе* огня), безъ сомнѣнія во вредъ долговѣчности котла и экономіи топлива, такъ какъ пришлось бы на небольшою рѣшеткѣ сжигать большое количество топлива, при несовершенномъ его горѣніи. Отсюда видна зависимость величины поверхности нагрева отъ величины площади рѣшетки, на которой обыкновенно считаютъ, что *поверхность нагрева должна быть въ 30 разъ болѣе площади рѣшетки*.

Весьма рѣдко поверхность нагрева, рассчитываютъ по числу паровыхъ лошадей полезной работы машины, принимая на каждую и. л. полезной работы: 1) для *постоянныхъ* (фабричныхъ) *котловъ* отъ 1,5 до 2,5 кв. м. (чѣмъ болѣе, чѣмъ меньше сила машины), 2) для *паровозныхъ* к. отъ 0,6 до 0,8 кв. м., 3) для *локомотивныхъ* отъ 0,5 до 0,6 кв. м. и 4) для *локобилей* отъ 0,6 до 1 кв. м.

При каждой котлѣ должно быть всегда строго соблюдено условіе, чтобы вся поверхность нагрева была покрыта водою. *Никогда уровень воды въ котлѣ не долженъ падать такъ низко, чтобы поверхность нагрева омывалась паромъ, а не водою, во избѣжаніе*



накаливания стѣнокъ котла, ставящаго котель въ опасное положеніе (§ 228) Для безопасности законъ предписываетъ, *чтобы низжайшее положеніе уровня воды въ котлѣ такъ наз. водяная черта, было все таки на 10 сант. (1") выше верхняго края дымоходной или такъ наз. оменной черты.*

**231. Водяное и паровое пространство котла.** Въ котлѣ постоянно должны находиться запасы воды и пара, значительно большіе количества пара, расходуемаго машиною. Если вообразимъ вертикальный диаметръ котла раздѣленнымъ на 3 равныя части, то вода наполняетъ котель почти до  $\frac{2}{3}$ , остальное же пространство котла заполнено паромъ.

Хотя при *недостаточной* *запасѣ* *воды* котель начинаетъ скорѣе давать паръ давной упругости, нежели въ томъ случаѣ, когда воды въ котлѣ будетъ много, но за то упругость его легко подвергается колебаніямъ, вслѣдствіе случайныхъ колебаній расхода пара, температуры въ топкѣ (огонь поддерживается не равномерно), а также во время питанія котла свѣжею водою. При большомъ запасѣ воды этихъ колебаній упругости не будетъ, ибо при данномъ объемѣ воды и пара одинаковой температуры первая содержитъ значительно больше теплоты <sup>1)</sup>, которая и регулируетъ паровое образование.

Величина *водяного пространства* зависитъ отъ назначенія котла. Если требуется, чтобы котель какъ можно скорѣе давалъ паръ, или если онъ работаетъ короткое время или съ частыми перерывами, или, наконецъ, если колебанія упругости пара не имѣютъ важнаго значенія, тогда *запасъ воды въ котлѣ* долженъ быть не великъ (какъ напр. въ котлахъ паровыхъ пожарныхъ помпъ, паровыхъ молотковъ, паровыхъ крановъ, насосовъ и т. п.). При обратныхъ условіяхъ водяное пространство котла должно быть велико (какъ напр. въ котлахъ прядильныхъ и ткацкихъ фабрикъ, машиностроительныхъ заводовъ, мельницъ, сахарныхъ заводовъ и т. п.)

Что касается *пароваго пространства*, то при недостаточномъ запасѣ пара, этотъ послѣдній, будучи принужденъ идти отъ машинѣ почти тотчасъ послѣ своего образованія, будетъ очень *влажнымъ*, т. е. будетъ заключать въ себѣ много воды изъ вѣдъ мельчайшихъ капель, такъ какъ вода эта, нагрѣтая до температуры парообразованія, никакой полезной работы изъ машинѣ не производитъ (вода не обладаетъ упругостію), то теплоту, заключенную въ ней, должно считать бесполезно потерянною. Поэтому паръ долженъ имѣть до-

<sup>1)</sup> 1 klg. пара, напр., при 159° содержитъ 655 ед. т., а 1 klg. воды — 159 ед. Но объемъ первого въ 807 разъ болѣе объема воды, слѣд., при одинаковомъ объемѣ съ 1 klg. воды, паръ содержитъ  $\frac{655}{159}$  ед. т., т. е. въ  $\frac{655}{159} = 76$  разъ менѣе, нежели 1 klg. воды.



статочко времени. чтобы освободиться отъ захваченной имъ воды (*просушиться*), для чего паровое пространство должно быть достаточно велико. Весьма полезно увеличивать его укрѣпленіемъ на котлѣ особаго вертикальнаго цилиндра (такъ наз *пароваго колпачка* для *паросушителя*, § 257), изъ котораго уже паръ берется въ машину.

Для осушенія пара устраиваются различныя приспособленія (*осушители*): подвѣшиваютъ подъ паровымъ куполомъ *плоскіе щиты*, въ которые ударяется паръ при своемъ движеніи къ колпаку, при чемъ водяныя капельки падаютъ обратно въ котелъ, подвѣшиваютъ въ паровомъ пространствѣ вдоль котла *длинные трубы*, снабженныя въ верхней своей части прорѣзами или цыпочками, наконецъ уменьшеніе процентнаго содержанія воды достигается *суженіемъ* выпускнаго отверстія, для чего въ исподѣ открываютъ створный паровой клапанъ (§ 258) пар., выходя изъ створнаго отверстія, расширяется, при чемъ часть воды, заключавшейся въ немъ, обращается въ паръ.

**232. Толщина стѣнокъ котла.** Толщина стѣнокъ котла должна быть *тѣмъ больше, чѣмъ выше прочность пара въ котлѣ и чѣмъ больше его диаметръ*. Такъ, парр. котелъ получаетъ толщину стѣнокъ  $e$

при 6 атм	полнаго внутр. давл	и 0,8 м діам	, $e = 7,5$ мм
» 6 »	»	» » 1,2 »	» $e = 10,5$ »
» 4 »	»	» » 1 »	» $e = 7$ »
» 6 »	»	» » 1 »	» $e = 9$ »

Загранично прежде толщина стѣнокъ предписывалась закономъ, но въ настоящее время вообще представляетъ заводчику, который выпускаетъ котелъ съ гарантией на определенное время.

У насъ закономъ<sup>1)</sup> предписывается формула

$$e'' = 0,0225(p - 1)D' + 0,12'' \quad . \quad . \quad . \quad (71)$$

гдѣ  $p$  есть абсолютная упругость пара въ котлѣ въ атм,  $D'$  діам. котла въ фут. и  $e$  толщина стѣнки въ дюймахъ. Переводъ на франц. мѣры получимъ:

$$e^m/m = 1,85(p - 1)D^m + 3^m/m.$$

Въ Германіи для опредѣленія толщины стѣнокъ котла пользуются формулою *Reyze*:

$$e^m/m = (p + 1)D^m + 2^m/m.$$

Что касается толщины стѣнокъ *внутреннихъ трубъ, подверженныхъ такому давленію*, то по теоріи она должна быть при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ *въ два раза больше*, нежели въ

<sup>1)</sup> Сводъ законовъ Р. И. 1857 г., т. XI, ч. II.

трубахъ, подвергающихся *внутреннему давлению*. Но на практикѣ обыкновенно дѣлають толщину эту меньше, во избежаніе скорого прогорания толстыхъ стѣнокъ, но за то укрѣпляютъ снаружи эти внутреннія трубы (жаровыя трубы) кольцами изъ углового желѣза (фиг. 207а) или еще лучше кольцевыми сѣрпыленіями по системѣ *Арагона* и *Бюлиона* (фиг. 207 б, в). Въ послѣднее время съ тою же цѣлью стали строить внутреннія трубы изъ *волнистаго желѣза*.

Вообще надо замѣтить, что толщина стѣнокъ не должна быть слишкомъ велика, во 1-хъ потому, что при большой толщинѣ листовъ качества желѣза хуже, нежели при малой, такъ какъ прочность желѣза зависитъ отъ его однородности, а послѣдняя легче достигается въ тонкихъ ли-



Фиг. 207.

стахъ; во 2-хъ потому, что большая толщина затрудняетъ переходъ теплоты въ котель и способствуетъ скорому прогоранію желѣза. Поэтому у насъ установлено закономъ, чтобы толщина стѣнокъ не была больше 0.45 дюйм. (1.13 сант.), а наибольшее давление внутри котла не выше 6 атм. Подставивъ эти предѣльныя величины с и p въ формулу (71) получимъ предѣльный диаметръ котла  $D=1.21$  м.

*Примѣчаніе.* На нашихъ заводахъ готовится листовое желѣзо толщиной въ  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ " и  $\frac{1}{2}$ ". Поэтому при проектированіи котла, вычисливъ толщину с стѣнокъ его, берутъ наиболее подходящий къ ней сортъ желѣза.

**233. Полезное дѣйствіе паровыхъ котловъ. Теоретическій и дѣйствительный расходъ топлива.** Предположимъ, что паровая машина расходуетъ  $K$  klg пара въ часъ. Количество теплоты, необходимое для образованія  $K$  klg пара температурою  $t$  изъ воды, температура которой  $t_0$ , по формулѣ Реньо (§ 218) будетъ:

$$Q = K(606.5 + 0.305 t) - Kt_0,$$

Пусть  $q_0$  и  $T$  будутъ въсь и теплотворная способность сжигаемаго топлива, тогда будемъ имѣть, предполагая, что *вся теплота, развиваемая въ топкѣ, переходитъ въ котелъ*:

$$Q = q_0 T = K(606.5 + 0.305 t) - Kt_0,$$

откуда получимъ *теоретическое количество топлива*:

$$q_0 = \frac{K(606.5 + 0.305 t) - Kt_0}{T}$$

*Дѣйствительный расходъ топлива* значительно больше теоретическаго, вслѣдствіе того, что не вся теплота, развиваемая топливомъ при горѣніи, переходитъ въ котелъ. Главнѣйшія причины потери теплоты суть: 1) не все топливо сгораетъ, часть его уносится

въ трубу. часть падаетъ въ зольникъ негорѣвшую. 2) горѣніе остальной части не исполнѣ совершенное, т. е. получаютъ не окончательные продукты окисленія элементовъ, входящихъ въ составъ топлива, а промежуточные, напр., окись углерода и пр.; 3) значительная часть теплоты уносится въ дымовую трубу; 4) часть теплоты теряется на нагреваніе стѣнокъ печи и всего помещенія.

*Отношеніе теплоты  $Q$ , переданной котлу, къ полной теплотѣ  $Q$ , разлагаемой топливомъ, носитъ названіе коэфф. полезнаго дѣйствія пароваго котла.* Для хорошихъ котловъ  $\frac{Q}{Q} = 0,6$ , слѣд.  $Q = 0,6(Q = 0,6)T$ . Поэтому *дѣйствительный расходъ  $q$  угля*, необходимаго для образованія  $K$  килограммовъ пара, будетъ:

$$q = \frac{K(606,5 + 0,305 t) - Kt_0}{0,6T}$$

Пусть, напр.,  $t = 159^\circ$  ( $n = 6$  атм.),  $t_0 = 10^\circ$ ,  $T = 7000$ . Полное количество теплоты, необходимаго для образованія одного  $\text{kg}$  пара будетъ  $Q = 606,5 + 0,305 \cdot 159 - 10 = 615$  ед. т. Слѣд., одинъ  $\text{kg}$ . угля теоретически можетъ образовать  $\frac{7000}{645} = 10,85$   $\text{kg}$ . пара изъ воды, которой температура  $10^\circ$ . Дѣйствительное же количество пара  $= \frac{0,6 \cdot 7000}{645} = 6,5$   $\text{kg}$ .

Въ практикѣ расходъ топлива опредѣляется обыкновенно по его *испарительной способности*, т. е. по количеству пара, получающагося отъ сжиганія 1  $\text{kg}$ . топлива, и при расчетахъ руководствуются слѣдующими данными, найденными изъ опыта:

1 $\text{kg}$ . кам. угля испар. въ обыкн. котлахъ . . .	5-7	$\text{kg}$ . воды
1 " " " " въ котл. Бельвилъ и Рута . . .	6	" "
1 " " " " англійскихъ котлахъ . . .	6-8	" "
1 " " " " локомотивн. " . . .	6-7	" "
1 " " " " тенбриков. " . . .	8-9	" "
1 " бурого угля испаряетъ . . . . .	4-15	" "
1 " дровъ (сухихъ) " . . . . .	2,5-3,5	" "
1 " торфа (съ 30% влажн.) . . . . .	1,5-2	" "
1 " соломы . . . . .	1,5-2	" "
1 " нефти . . . . .	12-14	" "

**234. Осадки въ паровомъ котлѣ, средства противъ нихъ и удаленіе ихъ изъ котла** Различныя вещества, содержащіяся въ водѣ, отчасти въ растворѣ, отчасти въ видѣ механическихъ примѣсей, постепенно осѣдаютъ на дно и стѣнки котла по мѣрѣ испаренія воды, образуя слой иногда значительной толщины. *Осадки* весьма вредны по слѣдующимъ причинамъ. 1) они дурно проводятъ теплоту, поэтому увеличивается *расходъ топлива*; 2) стѣнки котла, отдѣленные отъ воды слоемъ осадка *раскаляются до красна* и могутъ служить причиною *взрыва*, въ случаѣ если осадокъ дастъ трещину и часть его отскочить отъ стѣнокъ, причемъ вода придетъ

въ соприкосновеніе съ раскаленною стѣнкою. Вслѣдствіе быстрого охлажденія раскаленная стѣнка сильно сожмется, причемъ можетъ порваться связь ея съ соотвѣтн. раскаленною стѣнкою, еще покрытою слоемъ осадка, и произойти взрывъ. Въ лучшемъ случаѣ быстрое охлажденіе вызоветъ вредное сотрясеніе стѣнокъ, сопровождающееся измѣненіемъ строенія желѣза (*насадка* котла).

Осадокъ, образующійся въ котлѣ, бываетъ двухъ родовъ: *котельный илъ* и *котельный камень* (накипь). Котельный илъ представляетъ рыхлую массу, собирающуюся въ нижней части котла и состоящую изъ органическихъ веществъ въ смѣси съ землянистыми частицами и частицами солей, бывшихъ въ растворѣ. Котельный илъ совершенно не пристаётъ къ стѣнкамъ котла и можетъ быть легко удаленъ изъ котла *продувкою* его, т. е. выкускомъ части воды (подъ слабымъ давлениемъ—не болѣе 2 атм.) черезъ особые краны, наз. *продувными*. Лучше всего продувку произвести послѣ кратковременной остановки котла (утромъ рано послѣ праздника). Весьма часто снабжаютъ котель особыми *собирателями ила* (фиг. 208 и 218), имѣющий цѣлью собирать илъ въ безвредномъ мѣстѣ, откуда ихъ легко можно удалить продувкой.

*Котельный камень*, состоящій болѣею частью изъ глина, пристаётъ какъ крышко къ стѣнкамъ котла. въ видѣ торы, что можетъ быть отдѣленъ только припомощи зубила. Онъ образуется всегда въ тѣхъ случаяхъ, когда питательная вода содержитъ въ себѣ сернокислую известь (*шлема*). Глина трѣдно растворяется въ водѣ. Въ котлѣ постепенно стѣсняется растворъ глина, причемъ излишекъ его медленно осаждается на стѣнки, къ которымъ устѣваетъ прикипать, образуя *котельный камень*. Что касается углекислой извести и углекислой магнезій, содержащихся нѣрѣдко въ водѣ (*жесткая вода*), то такъ какъ онѣ растворимы лишь въ водѣ, содержащей углекислоту, а при кипѣніи воды углекислота быстро улетучивается, то и та и другая осѣдаютъ быстро въ видѣ ила, а не камня.

Накипь вреднѣе и опаснѣе иловатыхъ осадковъ; поэтому было предложено много средствъ, если не уничтожающихъ совершенно накипь въ котлѣ, то по крайней мѣрѣ предупреждающихъ образованіе сплошнаго и твердаго камня. Изъ средствъ *механическихъ* наилучшіе результаты доставляетъ заборисываніе въ котель, послѣ его очистки, картофеля, отрубей, декстрина и др. веществъ, содержащихъ камеди и клѣй, которые связываютъ частицы осадка, образуя съ ними вязкую массу, не пристающую вовсе къ стѣнкамъ котла. Подобное же дѣйствіе оказываетъ обмазка внутренности котла жирными смазками, напр., изъ 1 ч. графита и 6 ч. сала (смазка *Кеннеди*). Выборъ *химическихъ* средствъ зависитъ отъ состава накипи, опредѣленіе котораго должно быть поручено знающему химику. Если въ составѣ накипи *преобладаетъ глина*, то луч-

шимъ средствомъ считается прибавка къ питательной водѣ небольшого количества *соды*, которая не вредитъ стѣнкамъ котла. Мыше сильное средство представляетъ отваръ веществъ съ богатымъ содержаніемъ дубильной кислоты (дубовая и ивовая кора, чернильные орѣшки, желѣзо и пр.), которая входитъ въ двойное разложеніе съ углекислой и стѣрнокислой известью, образуя дубильнокислыя соли, осѣдающія въ видѣ рыхлаго порошка.

Наконецъ полезно, для уменьшенія накипей, *подогрѣвать* питательную воду въ особыхъ сосудахъ (§ 256), въ которыхъ успѣетъ осѣсть часть примѣсей.

**235. Подраздѣленіе паровыхъ котловъ.** Всѣ существующіе котлы могутъ быть отнесены къ слѣдующимъ четыремъ группамъ: 1) *котлы съ наружною топкою*, 2) *котлы съ циркулирующею топкою*, 3) *трубчатые* и 4) *циркуляционные котлы*.

Пернія три группы образуютъ одинъ обширный классъ котловъ съ *большимъ запасомъ воды и пара*; послѣдняя группа заключаетъ котлы съ *малымъ запасомъ воды*; въ нихъ вода обращается въ паръ почти непосредственно послѣ своего вступленія въ котелъ.

По *упругости (п)* пара въ котлѣ, они могутъ быть раздѣлены на котлы *низкаго давленія* ( $p = 1^1_4 - 1^1_2$  ат.), *средняго давленія* ( $p = 1^1_2 - 3^1_2$ ) и *высокаго давленія* ( $p = 3^1_2 - 6$  ат. для постоянныхъ машинъ, и  $p = 5 - 10$  ат. для передвижныхъ машинъ—локомотивовъ, локомотивовъ и пароходовъ). Котлы низкаго и средняго давленія примѣняются при водяномъ и паровомъ отопленіи, въ баняхъ и прачешныхъ заведеніяхъ. Для паровыхъ машинъ ставятся котлы, начиная отъ 3 атмосферъ абсолютной упругости пара.

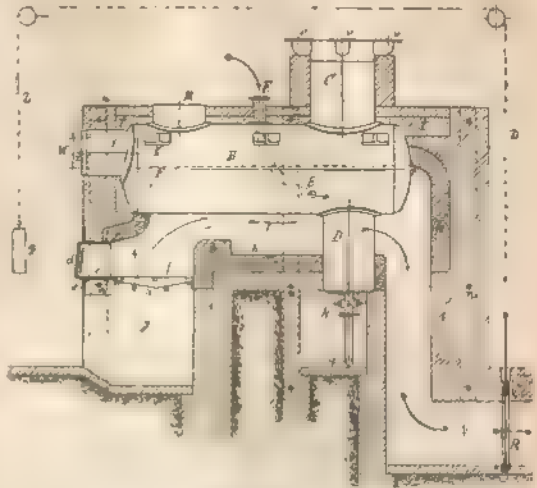
## I. КОТЛЫ СЪ НАРУЖНОЮ ТОПКОЮ

**236. Простой цилиндрическій котелъ** (фиг. 208). Этотъ котелъ служить прототипомъ котловъ съ выѣшнимъ нагрѣвомъ и представляетъ горизонтальный желѣзный цилиндръ В съ выпуклыми днищами. А есть топка, а — колосниковая рѣшетка, б — порожекъ, с — топочная плита (чугунная), служащая продолженіемъ рѣшетки, d — топочныя дверцы (двойныя), е — чугунная рама для дверей, h — огнеупорная облицовка печи, i — обыкновенная кладка, j — зольникъ, I — первый дымоходъ, V — боровъ, R — регистръ, подвѣшенный къ пѣпи zz съ противовѣсомъ G, опускающіеся какъ разъ около топочныхъ дверей, подъ рукою у кочегара; n, n, n — желѣзныя тяги, служащая для скрѣпленія печи, t, t — слой золы (какъ дурнаго проводника теплоты) для уменьшенія потери теплоты черезъ лучеиспусканіе.

Котелъ В опирается на кладку шестью *лапами* k, приклепанными въ верхней его части, а также нижнею своею поверхностью (фиг. 202) и отчасти *головкою* l, которая собственно назначается



для прикрѣпленія арматуры (водоѣмнаго стекла  $W$ , манометра и проч.).  $C$  есть чугунный или желѣзный паровой колпакъ,  $v, v, v$  — флянцы колпака, служащія для прикрѣпленія къ нему различныхъ клапановъ,  $D$  — собиратель осадковъ,  $E$  — питательная трубка,  $FF$  — огненная черта,  $z$  — водяная черта,  $F_1$  — фланецъ для укрѣпленія питательнаго клапана (автоматическ.),  $H$  — продувной (водоспускной) кранъ,  $q$  — водоспускная трубка и каналъ,  $M$  — лазъ или горловина, т. е. отверстие (герметически прикрытое крышкою), черезъ которое проникаетъ рабочий внутрь котла для осмотра и очистки его отъ накипи.



Фиг. 208.

Поверхность нагрева  $F$  въ этомъ котлѣ принимается равною половинѣ его боковой поверхности, т. е.  $F = \frac{1}{2} \pi DL$ , откуда положивъ  $L = k \cdot D$ .

$$D = \sqrt{\frac{2F}{k\pi}} \quad (72)$$

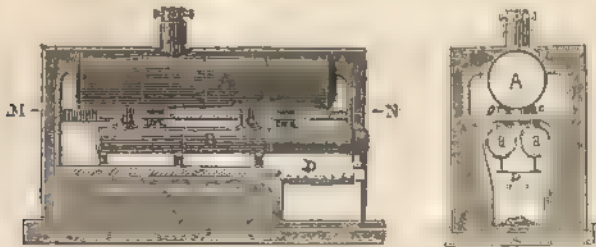
Длина котла дѣлается обыкновенно отъ 3 до 5 диаметровъ его. Принимъ  $k = 5$  и считая, что предѣльный диаметръ, по нашимъ законамъ, равенъ 1,21 м. (§ 232), получимъ наибольшую возможную величину поверхности нагрева  $F = \frac{1}{2} \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot (1,21)^2 = 11,5$  кв. м. Принимая, что на каждомъ кв. м. поверхности нагрева испаряется 20 кг. воды (§ 230) въ часъ, найдемъ, что котелъ доставитъ въ часъ 230 кг. пару — количество вообще неизвѣстное; поэтому такіе котлы могутъ служить только для машинъ малой силы.

**237. Котелъ съ кипятилъниками (Вульфа)** Котелъ этого типа, представленъ на фиг. 209.  $A$  есть главный котелъ, подъ которымъ располагаются два, иногда три, меньшихъ котла  $B, B$ , соединенныхъ съ нимъ каждаго двумя рукавами  $C, C$  и отдѣленныхъ отъ него кирпичною перегородкою. Топка  $B$  устраивается подъ котлами  $B, B$ . Продукты горѣнія идутъ сначала подъ этими послѣдними и затѣмъ уже заворачиваютъ подъ главный котелъ. При такомъ расположеніи самое сильное образование паровъ происходитъ



въ котлахъ В,В, какъ потому, что эти послѣдніе подвержены дѣйствию наиболѣе горячихъ газовъ, такъ и потому, что меньшая толщина стѣнокъ этихъ котловъ, способствуетъ болѣе быстрой передачѣ тепла отъ газовъ водѣ. На этомъ основаніи котлы В,В наз. *кипятильниками*.

Котель съ кипятильниками представляетъ, сравнительно съ предыдущимъ, большую поверхность нагрева и большее удобство въ отношеніи ремонта, такъ какъ наибольшей порчѣ здѣсь подвергаются кипятильники, которые не такъ дороги и могутъ быть легко замѣнены новыми, но онѣ имѣютъ существенные недостатки: 1) соединеніе котла съ кипятильниками, которые больше нагрѣты и, слѣд., больше расширяются. очень скоро разстраивается: соединительные рукава перекашиваются и *даютъ течь*; 2) въ каж-



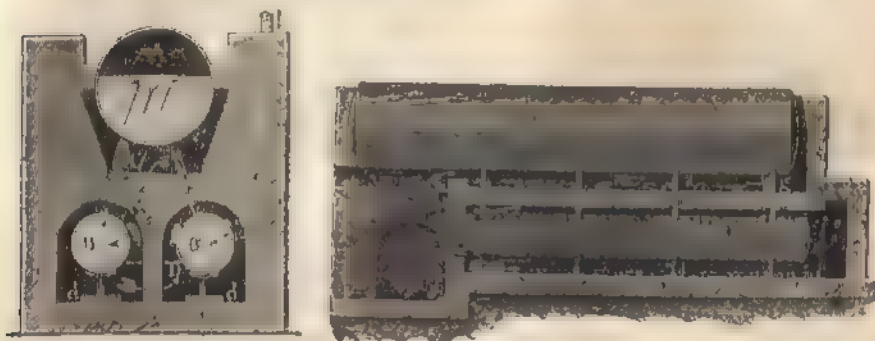
Фиг. 209.

домъ котлѣ на днѣ мало по малу образуются осадки или *накипи* отъ постороннихъ примѣсей, содержащихся въ водѣ. Накипи уменьшаютъ теплопроводность стѣнокъ, а, слѣд., и полезное дѣйствіе котла. Въ котлахъ Вульфа самое сильное образованіе накипи происходитъ не въ главномъ котлѣ, а въ кипятильникахъ, очистка которыхъ необходима по причинѣ ихъ малаго диаметра; 3) *вытокъ пара* изъ кипятильниковъ *затруднителенъ*: паръ цѣлымъ слоемъ прилегаетъ къ стѣнкамъ кипятильниковъ, уменьшая ихъ теплопроводность; 4) котлы съ кипятильниками не имѣютъ хорошаго мѣста для *питанія*. Обыкновенно труба, ведущая холодную воду для питанія котла, проводится въ кипятильникъ, но при этомъ вода, понижая температуру въ кипятильникѣ, задерживаетъ парообразованіе.

**238. Котель съ нагревательными трубами (Фаркò) (фиг. 210).** Главное отличіе этого котла отъ предыдущаго заключается въ томъ, что топка устраивается подъ большимъ котломъ А, который обладаетъ поэтому наибольшую паропроизводительностью. Въ подтрубахъ В,В', происходитъ главнымъ образомъ только подогреваніе воды. Поэтому трубы В,В' наз. *нагревательными*. Труба В соединена *однимъ рукавомъ* С съ главнымъ котломъ; вторая

соединена однимъ же рукавомъ съ первой: третья со второю и т. д. Продукты горѣнія, пройдя водъ главнымъ котломъ, заворачиваютъ къ первой нагрѣвательной трубѣ, затѣмъ ко второй и т. д. Питательная вода вводится въ послѣднюю трубѣ, въ которой происходитъ самое слабое парообразование. Какъ легко видѣть, въ этихъ котлахъ теченіе воды имѣетъ направленіе, *обратное* току горячихъ газовъ, вслѣдствіе чего въ котелъ переходитъ больше теплоты. Для облегченія движенія пара, трубамъ даютъ легкій *уклонъ* въ сторону теченія.

Котлы съ нагрѣвательными трубками, подобно котламъ съ кипятильниками, представляютъ значительную поверхность нагрѣва, но не имѣютъ ихъ недостатковъ. Называя буквами:  $D$  и  $L$  діаметръ и длину главного котла,  $d$ ,  $l$  и  $n$  — діаметръ, длину и число нагрѣвательныхъ трубъ (или кипятильниковъ), и принимая, что по-



Фиг. 210.

верхность нагрѣва  $F$  котла равна половинѣ боковой поверхности главного котла  $+ \frac{3}{4}$  поверхности нагрѣвательныхъ трубъ или кипятильниковъ, будемъ имѣть  $F = \frac{1}{2} \pi DL + n \frac{3}{4} \pi dl$ . Длина главного котла дѣлается отъ 3 до 5  $D$ , діаметръ трубъ чаще всего равенъ радіусу котла, а длина равна длинѣ котла. Такимъ образомъ, при  $n = 2$ :

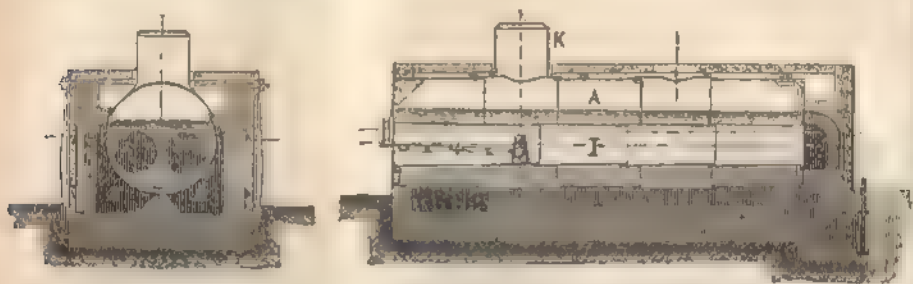
$$F = \frac{1}{2} \pi DL + 2 \cdot \frac{3}{4} \cdot \pi \frac{D}{2} L = 1.25 \pi DL \quad (73)$$

При проектированіи котловъ задается расходъ  $Q$   $\text{kg}$ . пара въ часъ и давленіе. Для котловъ Фарко принимаютъ  $F = \frac{Q}{25}$  до  $\frac{Q}{30}$  и строятъ котелъ съ однимъ подогревателемъ при расходѣ 400—800  $\text{kg}$ . пара въ часъ и съ 2 подогревателями при расходѣ 600—1500  $\text{kg}$ . пара въ часъ.

## II. КОТЛЫ СЪ ВНУТРЕННИМЪ НАГРѢВОМЪ

**239. Корнваллійскій и ланкаширскій котлы.** Увеличеніе поверхности нагрѣва достигается въ *англійскихъ* котлахъ тѣмъ, что внутри котла по длинѣ его укрѣпляютъ (отъ дннца до дннца) одну или двѣ большія трубы, въ которыхъ помѣщаются гошла и первые дымоходы. Эти трубы наз. *жаровыми*.

На фиг. 211 представленъ въ продольномъ разрѣзѣ котель съ одною жаровою трубою или такъ наз. *корнваллійскій*, а въ поперечномъ разрѣзѣ—*ланкаширскій* котель, съ двумя жаровыми трубами.

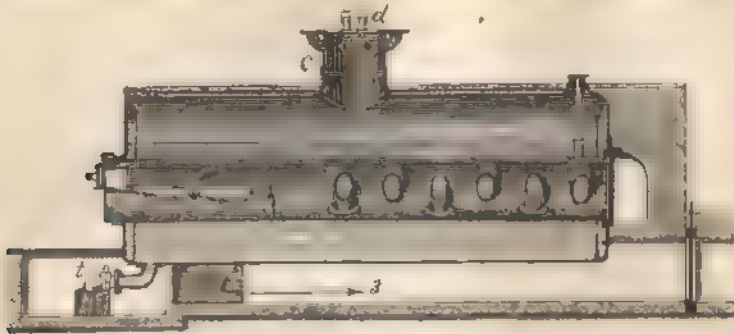


Фиг. 211.

А есть котель, внутри котораго проходит жаровая труба I, приклепанная при помощи круглыхъ угольниковъ къ плоскимъ днщамъ котла. Постлдія скрѣплены для большей прочности угольниками съ верхнимъ листомъ котла. Для увеличенія сопротивленія сплывающимъ жаровымъ трубамъ, подвергающимся здѣсь сильному наружному давленію, отдѣльныя звѣнья ихъ соединяются по способу Адамсона или Бутинга (§ 232). Въ каждой изъ жаровыхъ трубъ устраивается отдѣльная гошка. Продукты горѣнія, минуявъ пороги, проходятъ сначала по внутреннимъ трубамъ I, изъ которыхъ заворачиваютъ въ боковой дымоходъ II, затѣмъ, обогнувъ снизу переднюю часть котла, поступаютъ въ дымоходъ III, изъ котораго уходятъ уже въ трубу. Для возможности чистки боковыхъ дымоходовъ, въ передней стѣнкѣ котла оставляются обонки, которыя на время хода котла закладываются кирпичемъ. Пустоты, оставленныя въ кладкѣ по бокамъ и сверху котла, наполнены воздухомъ, который защищаетъ котель отъ охлаждения. Котлы эти сравнительно съ предыдущими занимаютъ мало мѣста и лучше утилизируютъ теплоту, ибо наиболѣе дѣятельная часть поверхности нагрѣва, такъ наз. *прямая поверхность нагрѣва* (получающая лучистую теплоту отъ раскаленныхъ углей) облужена водою. Поверхность нагрѣва ланкаширскаго котла принимается равною половинѣ

поверхности котла  $A$ , сложенной съ боковою поверхностью жаровыхъ трубъ, т. е  $F = \pi DI + 2\pi dl$ . Диаметръ  $d$  трубы коривала котла дѣлается  $= 0,55D$ , а ланкаширскаго  $0,35D$ . Кариваллийскіе котлы строятся для расхода  $Q$  пара отъ 600 до 1000 klg. въ часъ, а ланкаширскіе отъ 1000 до 2000 klg. Для трубъ и другихъ принадлежностей  $F = 0,05Q$ .

**240. Котель Галлова** (фиг. 212 и 213). Въ этомъ котлѣ внутри жаровыхъ трубъ укрѣпляются нѣсколько діаметральныхъ кони-



Фиг. 212

ческихъ шпиль или штифтовъ, наклоненныхъ въ разные стороны, но всегда обращенныхъ широкими основаніями кверху для облегченія отдѣленія пара. Подобнымъ устройствомъ достигается значительное увеличеніе поверхности нагрева, а также энергическая циркуляция



Фиг. 213.

воды внутри котла, ибо первые концы штифты заключаютъ наиболѣе нагрѣтую переносимую пузырями пара воду, сверхъ того, устройствомъ этихъ трубъ увеличивается сопротивленіе жаровой трубы сдвигиванію, тѣмъ не менѣе отдѣльныя звенья жаровой трубы соединяются по способу Адамсона или Боллингга.

На фиг. 213 слѣдуютъ точныя двери жаровыхъ трубъ, и—

люж, герметически закрытый крышкой и служащий для прочистки и промывки котла, b, b окошки, заложённые кирпичем и служащія для очистки дымовых ходовъ (боковыхъ) отъ сажи.

### III. ТРУБЧАТЫЕ КОТЛЫ <sup>1)</sup>.

**241. Принципъ устройства.** Сущность устройства трубчатыхъ котловъ заключается въ томъ, что внутри цилиндрическаго котла помещаютъ большое число трубокъ малаго діаметра, наз. *дымогарными* и образующихъ своею совокупностью первый дымоходъ. Вслѣдствіе такого раздѣленія дымового хода на нѣсколько каналовъ, значительно увеличивается поверхность нагрева котла, а, слѣд., и его паропроизводительность. На самомъ дѣлѣ, пусть  $n$  будетъ число дымогарныхъ трубокъ діаметромъ  $\delta$ , замѣняющихъ одну жаровую трубу, діаметръ которой  $d$ , при условіи равенства площадей поперечныхъ сѣченій, т. е. при условіи:  $\frac{\pi d^2}{4} = n \frac{\pi \delta^2}{4}$ , или  $d^2 = n \delta^2$ . Если  $l$  есть длина трубъ, то поверхность нагрева трубы  $d$  будетъ  $F = \pi d l$ , а общая поверхность нагрева дымогарныхъ трубокъ будетъ  $F' = n \pi \delta l$ :

слѣд.,  $F' = F n \frac{\delta}{d} = F n \sqrt{\frac{1}{n}} = F \sqrt{n}$ . Напр., замѣнивъ жаровую

трубу 100 трубками, увеличимъ поверхность нагрева въ 10 разъ. Трубчатые котлы употребляются въ тѣхъ случаяхъ, когда, при незначительномъ объемѣ, отъ котла требуется значительное парообразование, какъ, напр., въ *локомотивахъ, локобиляхъ, пароходахъ и некоторыхъ постоянныхъ машинахъ*.

Вмазка *постояннаго трубчатого котла* не отличается отъ вмазки нетрубчатыхъ котловъ. Въ наиболѣе употребительныхъ *постоянныхъ трубчатыхъ котлахъ* системы *Ферберна* все различіе отъ ланкаширскихъ котловъ состоитъ въ томъ, что жаровыя трубы, въ которыхъ устроены топки, идутъ не до конца котла, а приблизительно до середины (немного дальше порога), гдѣ онѣ прикрѣпляются къ плоскому днищу короткой эллиптической камеры, изъ противоположнаго днища которой и до конца котла идутъ уже дымогарныя трубы. Продукты горѣнія пройдя черезъ пороги топокъ, вступаютъ въ соединительную дымовую камеру, изъ которой направляются въ дымогарныя трубы, а изъ этихъ послѣднихъ поступаютъ въ боковые дымоходы.

<sup>1)</sup> Изобрѣтателями этихъ котловъ считаются *Маркъ Сеимъ* (1827 г.) въ Франціи и *Штифенсонъ* въ Англіи (1829 г.), хотя первенство безспорно принадлежитъ *англ. Барлоу*, взявшему патентъ на котельную трубчатую систему еще въ 1793 г.

Для небольших паровых машинъ, употребляемыхъ въ мелкой промышленности, очень часто строятъ *вертикальные трубчатые котлы*, которые удобны тѣмъ, что занимаютъ мало мѣста и не требуютъ вызки.

Материаломъ для дымогарныхъ трубокъ служитъ почти исключительно желѣзо (тянутыя желѣзныя трубы). Внутренний диаметръ трубокъ дѣлается отъ 4 до 5 сант. (общій недостатокъ трубчатыхъ котловъ состоитъ въ трудности очистки ихъ отъ котельнаго камня, который осѣдаетъ главнымъ образомъ на трубкахъ).

**242. Локомотивный котель** (фиг. 214). Паровозный котель состоитъ изъ слѣдующихъ частей: 1) А есть такъ наз. *внутренняя*

*огневая камера*; она имѣетъ форму *прямоугольнаго параллелепипеда* и склепывается изъ мѣдныхъ листовъ. Въ ней помѣщается колосниковая рѣшетка а, на которую забрасывается горючій материалъ черезъ дверцы в. Камера А помѣщена



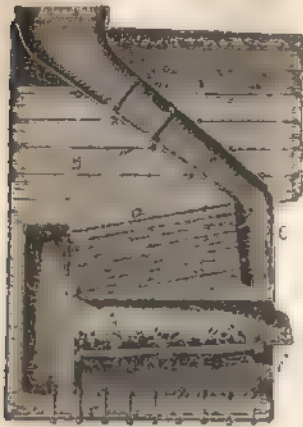
Фиг. 214.

внутри такъ наз. *наружной огневой камеры*, имѣющей также форму параллелепипеда, но склепанной изъ желѣзныхъ листовъ. Стѣнки обѣихъ камеръ скрѣплены такъ наз. *распорными болтами*. Промежутокъ между стѣнками камеръ наполненъ водою, которая при нормальномъ уровнѣ покрывается постоянно потолкомъ или такъ наз. *небо* огневой коробки: 2) В есть *цилиндрический корпусъ* котла, внутри котораго проходятъ дымогарныя трубы С.С.. 3) D есть такъ наз. *дымовая камера*, несущая на себѣ дымовую трубу Е. Дымогарныя трубы укрѣпляются однимъ концемъ въ передней стѣнкѣ огневой коробки, а другимъ—въ задней стѣнкѣ дымовой коробки. Продукты горѣнія, пройдя черезъ дымогарныя трубы, вступаютъ въ дымовую коробку, изъ которой вылетаютъ въ дымовую трубу Е. *Необходимая тяга производится искусственно* выпусканіемъ въ дымовую трубу *мятаго пара*, при помощи особой трубы, представляющей продолженіе общаго паровыпускнаго канала паровыхъ цилиндровъ локомотива. Болѣе подробное описаніе устройства локомотивнаго котла будетъ дано въ статьѣ объ локомотивахъ.

**243. Пароходный котель** (фиг. 215). Котель этотъ имѣетъ форму *прямоугольнаго параллелепипеда* и снабженъ внутреннею топкою А есть колосниковая рѣшетка, а, а., дымогарныя трубы С—дымовая труба, которая производится какъ водяное, такъ и



паровое пространство и тѣмъ увеличиваетъ поверхность нагрева котла, имѣющую здѣсь, какъ и въ локомотивномъ котлѣ, значительную величину, благодаря тому, что почти вся огневая коробка окружена водою.

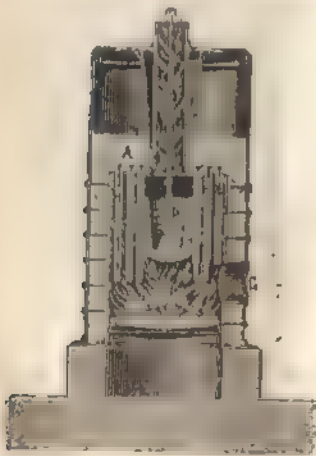


Фиг. 215.

Котлы этого типа строятся лишь для *средняго давления* пара (отъ 2 до 3 атм.) и имѣютъ обыкновенно нѣсколько топокъ, расположенныхъ одна возлѣ другой. Надежная прочность котлу придана многочисленными тягами, связывающими противоположные стѣны котла, огневая камера скрѣплена, какъ въ паровозномъ котлѣ, распорными болтами съ наружными стѣнами котла. Котламъ *высокаго давления* (отъ 4 до 8 атм.) придаютъ цилиндрическую форму.

#### IV. ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ КОТЛЫ.

**244 Котелъ Фильда.** Циркуляционные котлы представляютъ новѣйшую систему трубчатыхъ котловъ, отличающуюся отъ рассмотрѣнной выше тѣмъ, что у нихъ *трубки* (числомъ отъ 60 до 100 и болѣе) *наполнены водою* и окружены горючими газами, т. е. представляютъ систему небольшихъ (отъ 8 до 13 см. діам.) тонкостѣнныхъ (отъ 1 до 6 мм.) листовъ, связанныхъ между собою и съ главнымъ котломъ.



Фиг. 216.

Фиг. 216 представляетъ въ вертикальномъ разрѣзѣ котелъ Фильда, нашедшій себѣ большое примѣненіе въ мелкой промышленности. Огневая камера, какъ и самъ котелъ, имѣетъ форму вертикальнаго цилиндра и склеивается изъ желѣзныхъ листовъ. Въ серединѣ огневой коробки подвѣшенъ противъ устья дымовой трубы *F* листовой цилиндръ *D*, имѣющій назначеніе направить пламя и продукты горѣнія въ кольцевое пространство, образуемое

между нимъ и боковыми стѣнками огневой коробки. Въ этомъ пространствѣ помещено большое число (до 100) вертикальныхъ тру-

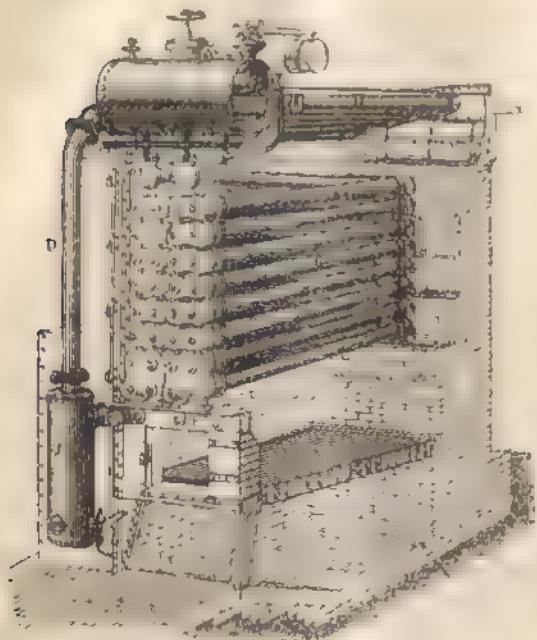
бокъ М. (фиг. 217) (прямыхъ или изогнутыхъ), укрепленныхъ къ небу огневой коробки и закрытыхъ снизу. Въ каждую трубу М вставлена другая трубка М', открытая съ обоихъ концовъ. При дѣйствіи пламени и горячихъ газовъ на трубки М, вода, находящаяся между трубками, нагревается и поднимается вверхъ, вследствие чего образуется непрерывный токъ воды изъ внутренней трубки въ наружную, а изъ послѣдней въ котель, при чемъ вода въ котлѣ быстро нагревается. Съ момента, когда въ кольцевомъ пространствѣ трубокъ начнетъ образоваться паръ, *скорость циркуляции* почти мгновенно возрастаетъ до весьма значительной величины (около 3 м.). Это увеличение скорости обусловливается значительною разностью веса воды находящейся во внутренней трубкѣ, и воды, наполняющей кольцевое пространство трубокъ и содержащей много пузырьковъ пара. Быстрая циркуляция способствуетъ усиленной передачѣ теплоты водѣ продуктами горѣнія, а также препятствуетъ образованию накипи въ трубкахъ. Опытъ показываетъ, что хотя температура въ тонкѣ равна около 1200° С., температура въ трубкѣ, отстоящей всего на одинъ метръ отъ рѣшетки, не превышаетъ 350°.



Фиг. 217.

**245. Котлы Вельвиля и Рута.** На фиг. 218 представленъ (частію въ разобранномъ видѣ) котель *Вельвиля*. Онъ состоитъ изъ нѣсколькихъ (5) независимыхъ одна отъ другой *баттарей*, образуемыхъ двумя вертикальными рядами трубокъ Г, изъ коихъ одинъ рядъ (правый) наклоненъ слѣва направо, а другой — справа налево, такъ что каждая батарея представляетъ родъ змѣевика (для облегченія циркуляціи воды). Каждая пара наклонныхъ въ разныя стороны трубокъ ввинчена съ одной и съ другой стороны въ небольшие чугунныя коробки, которыя снабжены отверстиями, закрытыми винтовыми пробками, для очистки трубокъ отъ накипи. Самая нижняя трубка каждой батареи соединена съ общемою *питательною трубою*, идущею отъ резервуара І; вода изъ этого резервуара вступаетъ въ питательную трубу, изъ которой поступаетъ въ самую нижнюю соединительную коробку, изъ этой послѣдней въ первую поднимающуюся слѣва направо трубку, изъ нея, черезъ правую соединительную камеру, во вторую трубку, поднимающуюся справа налево и т. д. Верхняя трубка каждой батареи соединена при помощи короткаго подтрубка съ *пароприемникомъ* С. Такой способъ питанія, обуславливая непрерывную циркуляцію воды, предупреждаетъ образованіе въ трубкахъ Г котельнаго камня, который осаждается на днѣ собирателя Е. Топливо забрасывается черезъ дверцы F на колосниковую рѣшетку К. Продукты горѣнія

поднимаясь съ рѣшетки охватываютъ трубки со всѣхъ сторонъ и уходятъ черезъ регистръ въ дымовую трубу, отдавъ батареямъ



Фиг. 218.

большую часть своей теплоты. Такъ какъ вследствие незначительнаго количества воды и быстрого парообразования, котелъ даетъ очень *влажный паръ*, то приѣмникъ С снабжается *водоловительми* (§ 231) и сверхъ того паръ, прежде поступленія въ машину, проводится по горизонтальному ряду зигзагообразныхъ трубокъ Н, въ которыхъ онъ еще разъ нагревается, при чемъ часть увлеченной имъ воды обращается въ паръ. Система подобныхъ трубокъ образуетъ такъ наз. *подогреватель* или *паросушитель*; въ настоящее время подобный паросушитель ставится и при котлахъ другихъ

системъ.—въ боровѣ. Въ случаѣ порчи или поломки трубы или соединительной камеры легко можетъ быть вынута вся батарея, которой принадлежитъ поврежденная часть, при чемъ надо только устранить соединенія батарей съ питательной и пароприѣмной трубами. Закрывъ затѣмъ отверстія этихъ трубъ можно оставшуюся часть котла снова пустить въ ходъ.

Въ котлахъ *Рута*, представляющихъ усовершенствованные котлы Бельвилля, *облегчено* парообразование тѣмъ *во-первыхъ*, что всѣ трубки батарей наклонены въ одну сторону, и *во-вторыхъ* тѣмъ, что паръ изъ каждой трубы можетъ идти въ парособиратель, для чего концы ихъ соединены общою камерою. Сверхъ того въ котлахъ *Рута* облегчена *разборка батарей* тѣмъ, что трубки не ввинчиваются въ сборную камеру, а укрѣпляются посредствомъ напавочнаго, плотно притертаго кольца.

Въ циркуляционныхъ котлахъ наибольшую часть поверхности нагрева составляетъ поверхность циркуляционныхъ трубокъ, но вся

поверхности, послѣднихъ представляетъ *прямую* <sup>1)</sup> поверхность нагрева; этимъ обстоятельствомъ объясняется также превосходная утилизация теплоты въ разсматриваемыхъ котлахъ. Циркуляціонные котлы *начинаютъ давать паръ уже черезъ 8—10 минутъ послѣ начала топки*; между тѣмъ какъ обыкновенные котлы требуютъ болѣе часа на растопку, а, слѣд., расходуютъ и больше топлива. Это обстоятельство имѣетъ важное значеніе въ котлахъ, дѣйствующихъ не постоянно, которые приходится часто растапливать, напр., въ котлахъ для паровыхъ пожарныхъ трубъ, локомотивей, пароходовъ и др. Быстрота развития пара зависить отъ небольшого запаса воды въ циркуляционныхъ котлахъ—обстоятельство, которое дѣлаетъ эти котлы *безопасными* въ отношеніи взрыва. Дѣйствительно, хотя серьезное поврежденіе какой-либо части котла и можетъ причинить гибельъ волни находящимся людямъ, но никогда взрывъ котла не можетъ имѣть столь опустошительнаго характера, какъ взрывъ обыкновеннаго котла. Поэтому котлы Бельвиля нерѣдко ставятся на судахъ военнаго флота, ибо нигдѣ взрывъ котла не можетъ имѣть такихъ страшныхъ послѣдствій какъ на открытомъ морѣ.

Изъ существенныхъ недостатковъ этихъ котловъ относятся: скорое *прогораніе* трубокъ и въ особенности появленіе *точекъ* при малѣйшей неаккуратности въ сопряженіяхъ, необходимость очень правильнаго *питанія*, по причинѣ небольшого запаса воды въ котлѣ, и при томъ чистою водою, такъ какъ чистка трубокъ по малости ихъ діаметра затруднительна.

**246. Причины взрывовъ котловъ.** Во время дѣйствія котла стѣнки его выдерживаютъ громадное давленіе заключеннаго въ немъ пара. Что это давленіе дѣйствительно огромное, видно изъ тѣхъ катастрофъ, которыя сопровождаютъ «взрывъ» котла, при которомъ части его разлетаются на значительныя разстоянія, разрушая и уничтожая все на своемъ пути. Сила взрыва усугубляется еще тѣмъ обстоятельствомъ, что въ моментъ разрыва стѣнокъ, давленіе въ котлѣ вдругъ значительно падаетъ, вслѣдствіе чего почти мгновенно образуется огромное количество новаго пара, способствующаго ужаснымъ послѣдствіямъ взрыва котла.

Главнѣйшія причины взрывовъ котловъ суть: 1) *дурной материалъ* (листовое желѣзо) или *дурная работа* (небрежное сгибаніе, сверленіе, склепываніе и т. п.); *неправильность конструкции котла* (напр. невозможность безпрепятственнаго расширенія котла отъ

<sup>1)</sup> Прямую поверхностью нагрева наз. та ея часть, которая приходится надъ колосниковую рѣшетку и которая нагревается не только теплотою горячихъ газовъ, но и лучистою теплотою раскаленныхъ углей. Понятно, что количество теплоты, получаемое каждою единицею прямой поверхности, значительно больше теплоты, получаемой *непрямой* поверхностью, которая нагревается только продуктами горѣнія.

теплоты и т. п.). 2) *сильное изнашивание котла*, вследствие прогорания и образования ржавчины. 3) *накапливание стенок* вследствие недостатка воды или образования накипи; 4) *чрезмѣрное уменьшеніе упругости пара*. 5) *удары и сотрясенія*, ослабляющія котель. Поэтому не допускается на ходу котла чеканка швовъ (въ мѣстахъ течи), поправка заклепокъ ударами молотка и т. п. 6) *пожаръ въ котельномъ помѣщеніи* во время дѣйствія котла. Пожаръ можетъ произойти вследствие неосторожности или самовосгорания угля (въ особенности содержащаго сѣру), опилокъ и т. п. Поэтому отнюдь не допускается храненіе большими кучами этихъ веществъ не только въ котельномъ помѣщеніи, но даже вблизи его. Если пожаръ начался, то для предупрежденія взрыва должно открыть по возможности всѣ клапаны и прикрыть всѣ отверстія (двери, окна), черезъ которыя можетъ вступать воздухъ въ помѣщеніе котла.

*Примѣчаніе.* Къ числу вѣроятныхъ причинъ взрывовъ причисляютъ также такъ наз. *перерывъ воды и переизбытокъ пара*. Первый заключается въ томъ, что при абсолютномъ покоѣ вода не даетъ пара, хотя нагрѣта до температуръ, соответствующей вѣдшему давленію, но при малѣйшемъ сотрясеніи образуется вдругъ огромное количество пара. Однако условіе абсолютнаго покоя едвали допустимо для пароваго котла. Действительно же явленіе (*сфероидальное состояніе воды*) состоитъ въ томъ, что вода, прикоснувшись къ раскаленнымъ стѣнкамъ, отдѣляется отъ нихъ въ видѣ крупныхъ капель, окруженныхъ паровою оболочкою, но при малѣйшемъ сотрясеніи или охлажденіи мгновенно вся обращается въ паръ. Должно замѣтить однако, что раскаленное состояніе стѣнокъ само по себѣ уже можетъ служить причиной взрыва (§ 226).

**247. Проба котловъ.** По закону, каждый котель передъ его употребленіемъ подвергается губернскимъ механикомъ пробѣ усиленныхъ гидравлическимъ давленіемъ, имѣющей цѣлю испытаніе какъ прочности постройки, такъ и доброкачественности материаловъ, изъ которыхъ сдѣланъ котель. Нагрузивъ предохранительные клапаны пробнымъ грузомъ, соответствующимъ *установленному* внутреннему давленію (за вычетомъ атмосфернаго), допускаемому при постоянной работѣ, т. е. 2 ( $n-1$ ), накачиваютъ воду въ котель насосомъ, сходнымъ съ насосомъ гидравлическаго пресса, до тѣхъ поръ, пока клапаны не начнутъ подниматься со своихъ мѣстъ и вода не появится изъ ихъ отверстій. Если при такой пробѣ котель не дастъ течи (въ швовъ), то онъ признается годнымъ къ употребленію и снабжается клеймомъ съ обозначеніемъ допускаемой упругости паровъ ( $n$ ), года, мѣсяца и дня пробы. Въ виду изнашиванія и порчи котла съ теченіемъ времени, каждый котель, по закону, долженъ подвергаться пробѣ *черезъ каждые три года*, а также послѣ всякаго ремонта и перемазки котла въ другомъ мѣстѣ.



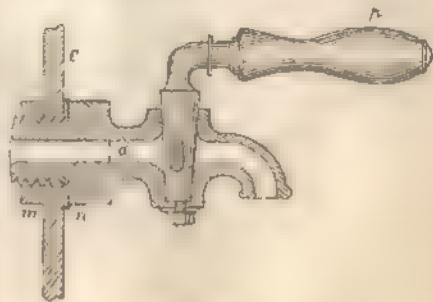
### С. Арматура котловъ.

**248.** При каждомъ котлѣ должны быть слѣдующіе приборы и приспособленія: 1) для показанія уровня воды въ котлѣ, 2) для показанія упругости пара въ котлѣ, 3) для предупрежденія чрезмѣрнаго повышенія давленія пара 4) для отвода пара изъ котла; 5) для питанія котла сѣвжею водою, 6) для опоражниванія котла и 6) для очистки котла. Все эти приборы составляютъ такъ наз. *арматуру* котла. Подъ именемъ же *арматуры* разумѣютъ двери топочныя и зольниковыя, наружную облицовку чугунными плитами и т. п.

Кромѣ перечисленныхъ выше необходимыхъ приборовъ и приспособленій многие котлы снабжаются нѣкоторыми менѣе необходимыми приборами, служащими для специальныхъ цѣлей (напр., сигнальными свистками, устраниваемыми при аппаратахъ, указывающихъ на избытокъ или недостатокъ воды, чрезмѣрное повышеніе упругости пара и т. п.).

**249. Пробные краны** (фиг. 219). Простѣйшіе приборы, служащіе для показанія уровня воды въ котлѣ суть *пробные краны* или *клананы*. При каждомъ котлѣ имѣются обыкновенно два бронзовыхъ крана (иногда три). Нижний кранъ помѣщается на высотѣ водяной черты (§ 230), т. е. на 10 с. выше пламенной черты, а верхній — на 10 с. выше нпжняго. Горизонтъ воды въ котлѣ во время дѣйствія его долженъ быть постоянно между этими кранами, такъ что нижній кранъ при открываніи его долженъ давать всегда воду, а верхній — паръ. Если имѣется третій кранъ, то онъ располагается на высотѣ средняго уровня. Краны винчиваются въ днище котла и затягиваются изнутри гайкою; для герметичности наръзка крана смазывается суриковою краскою, а между флянцами крана и днищемъ котла помѣщается прокладка свинцовая или мѣдная. Рукоятка снабжена деревянною оболочкою. Для смазки крановъ служить мазь изъ  $\frac{2}{3}$  ч. сала и  $\frac{1}{3}$  ч. каучука; она служитъ, не высушая 4—6 недѣль. Перѣсно пробные краны и другіе указательные приборы укрѣпляются на особой цилиндрической коробкѣ, привернутой къ переднему днищу котла.

Время отъ времени краны поочередно открываютъ, причемъ черезъ верхній кранъ долженъ выдѣляться паръ, черезъ нижній — вода.



Фиг. 219.

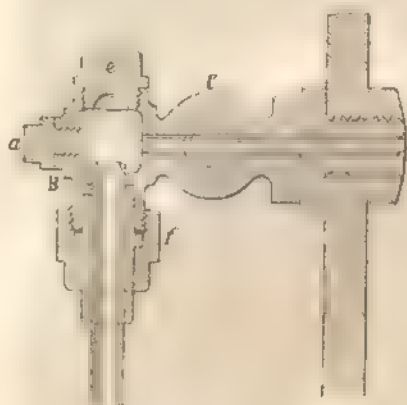


Должно замѣтить, однако, что только опытный глазъ и ухо привычнаго кочегара могутъ безъ ошибки опредѣлить вытекаетъ-ли паръ или вода, потому что струя воды, въ особенности при высокомъ давленіи пара, будучи сильно нагрѣта, превращается почти мгновенно по выходѣ изъ края въ паръ, а паръ, на оборотъ, по выходѣ изъ своего края, почти мгновенно конденсируется. Но опытный кочегаръ знаетъ, что если при этомъ звукъ, сопровождающій выходъ струи изъ верхняго и нижняго краевъ, явственно различенъ, то это значитъ, что изъ нижняго края выходитъ вода, а изъ верхняго паръ, если же звукъ одинаковъ, то изъ обоихъ краевъ вытекаетъ либо паръ, либо вода. Изъ сказаннаго ясно, что сами по себѣ края какъ единственные водоизмѣтельные приборы недостаточны, они служатъ обыкновенно для проверки показаній водоустранинаго стекла.

**250. Водоустраниное стекло** (фиг. 220) Оно служитъ для точнаго указанія уровня воды въ котлѣ. Главную часть прибора составляетъ открытая стеклянная трубка А, длиною около 16 с. и діам. около 1,5 с., вставленная своими концами въ бронзовыя оправы В, В, которымъ данъ устройству, сходное съ устройствомъ сальниковъ (1, фиг. 221). Оправы соединены съ котломъ при помощи



Фиг. 220.



Фиг. 221.

бронзовыхъ же трубокъ верхняя съ паровымъ крестомъ, нижняя съ воднымъ. Трубка отчасти погружена въ воду, которая то вымается въ котелъ по уровню въ котлѣ. Котловая вода въ этомъ стеклѣ обозначена на стеклѣ для того, чтобы можно было различить. Соединительныя трубки и нижняя оправка соединены краями С, Д и Е и въ котлѣ при этомъ вода постоянно от-

крыты. Отверстія, закрываемыя винтовыми пробками а, служат для прочистки соединительных трубок С и D (фиг. 221). Через отверстие е, закрываемое подобною же винтовой пробкою, вставляется, вынимается (въ случаѣ поломки) и прочищается стекло, даже на ходу котла, для чего закрываютъ предварительно краны С и D. Подъ гайки а и е для герметичности подкладываютъ *ацетовыя* колечки, а для сальниковъ і набивкою служатъ каучуковые или асбестовыя колечки. При такомъ устройствѣ удлиненіе и укороченіе трубки совершается свободно.

Уровень воды въ трубкѣ постоянно колеблется и тѣмъ замѣтно, чѣмъ сильнее кипѣніе воды въ котлѣ. Если уровень воды въ трубкѣ остается долгое время неподвижнымъ, то это есть признакъ засоренія трубки. Чтобы убедиться въ этомъ, открываютъ на истощеніи секунды и снова закрываютъ кранъ Е, при чемъ, если трубка чиста, вода должна подняться въ ней совершенно точно на прежнюю высоту. Во время прочистки трубки С или D (случаю подъ прямымъ угломъ, проводкою) должно постепенно открывать краны С или D. Кранъ Е служитъ также для прочистки стекла на ходу котла (для *проточки*), нѣсколько разъ на дню, при чемъ закрываютъ кранъ D и открываютъ С.

При наблюдении за стекломъ должно обращать особенное вниманіе на то обстоятельство, чтобы верхній сальникъ и пробки не пропускали пара, потому что въ такомъ случаѣ вода въ трубкѣ поднимется выше уровня въ котлѣ въ которомъ можетъ оказаться недостатокъ воды между тѣмъ какъ стекло можетъ показывать даже избытокъ ея. Въ случаѣ *поломки* стекла отъ какой либо причины должно прежде всего осторожно закрыть нижній кранъ D, а затѣмъ и верхній, отвинтивъ затѣмъ гайки I, вставляютъ запасное стекло, для предупрежденія поломки новаго стекла его слѣдуетъ осторожно сообщать съ котломъ, открывъ сначала верхній кранъ С и то постепенно.

251 Сигнальный поплавокъ Предлагаемые приборы требуютъ непрерывнаго вниманія со стороны кочегара, малѣйшая небрежность котораго можетъ повести къ взрыву котла. Поэтому котлы нерѣдко снабжаютъ автоматическими приборами, извѣщающими кочегара свисткомъ объ опасномъ положеніи уровня воды въ котлѣ. Сигнальный поплавокъ (фиг. 222) удовлетворяетъ вполнѣ этой цѣли. Онъ состоитъ изъ полого шара А, укрѣпленнаго на одномъ концѣ рычага 1-го рода ABC, на другомъ концѣ котораго находится шарикъ D, который въ нормальномъ положеніи рычага удерживается на своемъ мѣстѣ, а при поднятіи рычага, когда уровень воды въ котлѣ не ниже нормальнаго, шарикъ D, удерживая рычагъ, закрываетъ трубку F, привинченную къ котлу, все время, пока горизонтъ воды въ котлѣ не ниже нор-



Фиг. 222

мального уровня. Но какъ только уровень понизится за нормальный, поплавокъ и клапанъ тотчасъ опустятся, и парь, устремляясь въ трубку в, дастъ кочегару сигнальный свистокъ.

**252. Манометры.** Манометрами наз. приборы, показывающіе давление пара въ котлѣ. Показания манометровъ даютъ возможность кочегару поддерживать правильный огонь въ топкѣ, наблюдая, чтобы давленіе пара соотвѣдало нормальную величину. Въ настоящее время при паровыхъ котлахъ употребляются исключительно металлические манометры, изъ которыхъ мы опишемъ два наиболѣе употребительные: трубчатый манометръ *Бурдона* (1849) и коробчатый *Шеффера—Буденберга*.

Манометръ *Бурдона* (фиг. 223) состоитъ изъ согнутой въ спираль латунной трубки ABC эллиптическаго сѣченія, сообщающей однимъ концомъ (C) при посредствѣ изогнутой *сифонной* трубки, содержащей воду, съ паровымъ пространствомъ котла и впаиванной съ другаго конца (A). Къ концу A прикрѣплена стрѣлка, движущаяся по шкалѣ II, дѣленія которой выражаютъ давление пара въ атмосферахъ, килограммахъ или фунтахъ. Если упругость пара остается постоянною, то стрѣлка стоитъ неподвижно на дѣленіи, соотвѣствующемъ давлению пара. При увеличеніи упругости трубка ABC разгибается, причемъ стрѣлка движется вправо; при уменьшеніи же давленія происходитъ обратное. Этотъ манометръ очень простъ, не дорогъ и очень чувствителенъ; но со временемъ чувствительность его уменьшается и потому необходимо отъ времени до времени провѣрять его дѣленія.



Фиг. 223.



Фиг. 224

Манометръ *Шеффера—Буденберга* (фиг. 224) состоитъ изъ круглой стальной пластинки а, имѣющей волнообразный изгибъ и укрѣпленной между фланцами

двухъ трубокъ е и f, изъ которыхъ первая сообщается съ котломъ. Парь, устремляясь по этой трубкѣ, прогибаетъ пластинку а, движеніе которой передается при помощи зубчатого сектора с и шестерни d стрѣлкѣ манометра.

Для намѣтки дѣленій на циферблатѣ прикрѣпляютъ къ нагнетательному насосу два манометра — испытываемый и контрольный (ртутный) и накачиваютъ воду подъ различными давленіями, причемъ и намѣчаютъ дѣленія на испытываемомъ манометрѣ, согласно показаніямъ контрольнаго. Обыкновенно дѣленія наносятся такимъ

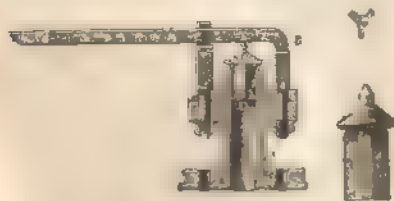
образомъ, что цифры шкалы даютъ давленіе пара въ котлѣ за вычетомъ атмосфернаго ( $p-1$ )—въ атмосферахъ (1 атм. = 1 кг на кв. с.) или въ англійскихъ фунтахъ на кв. дюймъ (1 атм. = 15 англ. ф на кв. д., или 16,29 рус. ф. на кв. д.). на такомъ циферблатѣ дѣленія начинаются отъ нуля. По *французской системѣ*, цифры шкалы даютъ полное давленіе пара въ котлѣ, безъ вычета атмосфернаго, такая шкала не имѣетъ нуля, а начинается съ 1. На *всякой шкалѣ*, по закону, *наибольшее допустимое давленіе пара должно быть обозначено красною чертою*.

**Проверка манометра.** Манометръ исправенъ, если: 1) стрѣлка его *идетъ*, т. е. плавно колеблется взадъ-впередъ; 2) стрѣлка медленно отходитъ отъ нуля, если закрыть паровую кранъ (*повернуть на нуль*) и снова занимаетъ прежнее положеніе, если открыть кранъ; 3) стрѣлка показываетъ максимальное давленіе одновременно съ тѣмъ, какъ начнетъ *идти* предохранительный клапанъ.

**Примечаніе.** Трубка, сообщающая манометръ съ котломъ, загибается сифономъ, въ которомъ собирается конденсационная вода (*называютъ мышь*), съ тою дѣлюю, чтобы паръ передавалъ давленіе спирали манометра не непосредственно, а при помощи этой воды (болѣе или менѣе холодной), чѣмъ предъ-  
преждается сильное нагреваніе прибора.

**253. Предохранительный клапанъ <sup>1)</sup>.** Упругость пара въ котлѣ не должна превышать наибольшей допустимой величины. Для предупрежденія излишняго повышенія давленія, при каждомъ котлѣ должны находиться приборы, которые автоматически должны выпускать излишекъ пара въ атмосферу, въ случаѣ, когда, по какой либо причинѣ (напр. во время короткихъ остановокъ), количество пара, образующагося въ котлѣ, превышаетъ его расходъ. Самые употребительные изъ этихъ приборовъ суть *предохранительные клапаны*.

На фиг. 225 показано общее устройство предохранительнаго клапана. Основаніемъ его служитъ чугунный стаканъ А, къ которому привинчивается такъ наз. *седло* клапана В, плотно прикрытое сверху *клапаномъ* СД. Последний обыкновенно имѣетъ форму тарелки и снабженъ 3 или 4 ребрами, плотно скользящими въ седлѣ и служащими для *направленія* движенія клапана по оси прибора. На клапанъ опирается рычагъ 2-го рода ЕНН, вращающійся около оси Е и нагруженный на свободномъ концѣ соответственно максимальной упругости пара. При до-



Фиг. 225

<sup>1)</sup> Предохранительный клапанъ изобрѣтенъ *Денисомъ Папеномъ* въ 1621 г.

стижения этой упругости клапанъ открывается, поднимая рычагъ съ грузомъ, и даетъ выходъ излишнему пару.

Называя буквою  $P$  давление пара на клапанъ, равное, за вычетомъ атмосфернаго:  $\frac{\pi d_1^2}{4} n \cdot 1,0334 - \frac{\pi d_2^2}{4} 1,0334 = 1,0334 \frac{\pi}{4} (nd^2 - d_2^2)$ , гдѣ  $n$ ,  $d$  и  $d_2$  означаютъ наибольшую допускаемую упругость пара въ ати и диаметры клапана: внутренний и наружный, буквою  $Q$  вѣсъ груза ( $G$ , буквами  $L$ ,  $l$  и  $p$ , грузовое плечо, плечо давленія пара и радиусъ оси рычага,  $f$  коэфф. тренія въ оси, наконецъ,  $l_1$  и  $l_2$  — вѣсъ рычага и плечо вѣса — получимъ, пренебрегая вѣсомъ клапана для равновѣсія рычага уравненіе моментовъ.  $P l - Q L = q_1 l_1 - (P - Q - q_1) f p = 0$ , откуда:

$$Q = \frac{P(l - fp) - q_1(l_1 - fp)}{L - fp}.$$

Вѣсъ груза  $Q$  повлечется при гидравлической пробѣ.

Въ локомотивахъ, подверженныхъ на ходу качкѣ и сотрясеніямъ груза,  $Q$  замѣняется *пружиной*, одинъ конецъ которой прикрѣпляется къ концу рычага, а другой къ котлу.

Что касается внутренняго диаметра  $d$  клапана, то, по закону, онъ долженъ быть определенъ по слѣдующей эмпирической формулѣ:

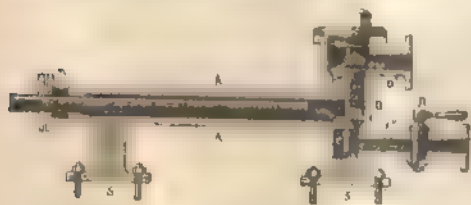
$$d = 0,316 \sqrt{\frac{F}{n - 0,412}} \text{ дюйм.} \quad . . . (74)$$

гдѣ  $F$  есть поверхность нагрѣва въ кв. ф. и  $n$  — упругость пара въ атмосферахъ. Площадь прикосновенія клапана къ сѣдлу, равная  $\frac{\pi}{4} (d^2 - d_2^2)$  не должна быть слишкомъ велика, во избежаніе *прилипания* клапана; она не должна быть (по закону) больше 0,05 площади отверстія клапана. При каждомъ котлѣ должно быть два предохранительныхъ клапана.

Для поддержанія легкой подвижности предохранительнаго клапана его слѣдуетъ ежедневно, по крайней мѣрѣ, одинъ разъ, продувать, осторожно поднимая и опуская рычагъ. При отсутствіи подобной продувки клапанъ легко можетъ *застыть*, т. е. прильнуть къ сѣдлу.

**254 Питательный насосъ.** Питаніе котла составляетъ весьма важный вопросъ, болѣе половины взрывовъ имѣли при ничтожномъ неравильномъ питаніи. Приборы, доставляющіе воду въ котелъ, взаимно испарившейся, носятъ названіе питательныхъ.

Изъ нихъ мы рассмотримъ: *питательный насосъ и инжекторъ*. Устройство питательнаго насоса весьма разнообразно. Насосъ, представленный на фиг. 226 состоитъ



Фиг. 226

изъ цилиндра или стакана  $A$ , ось котораго располагается параллельно оси пароваго цилиндра. Насосъ прикрѣпляется къ станинѣ

машины при помощи болтовъ, пропущенныхъ черезъ лапы s.s. Въ станокѣ А движется поршень М. наз. *ныряломъ* и представляющий тщательно обточенный цилиндрический стержень, пропущенный черезъ *сальникъ* D, служащими пеняковою или кожаной *набивкою*, предупреждающею просачиваніе воды. Диаметръ ныряла дѣлается нѣсколько меньше диаметра насоснаго цилиндра для избѣжанія тренія первого о послѣдній.

Ныряло М. получаетъ движеніе непосредственно отъ штока пароваго поршня. Въ другихъ насосахъ нырялу сообщается движеніе отъ *экцентрика*, насаженнаго на главный валъ машины, а въ машинахъ съ коромысломъ — отъ этого послѣдняго. Цилиндръ А отлитъ за одно съ *клинанной коробкою* В, въ которой помѣщены два клапана С и С'. Первый наз. *всасывающимъ*, потому что черезъ него проходитъ *всасываніе* или забирае воды изъ колодца или другаго резервуара по всасывающей трубѣ ("), а второй — *нагнетательнымъ* черезъ него вода накачивается въ котель. Въ трубѣ С" помѣщенъ кранъ R, который устанавливаетъ или прерываетъ сообщеніе насоса съ резервуаромъ питательной воды ('). Когда кранъ R закрытъ — насосъ не дѣйствуетъ; но если кранъ открытъ, то при движеніи ныряла влѣвъ позади его образуется разреженное пространство, наружное давленіе заставляетъ воду постепенно, съ каждымъ размахомъ, подниматься выше и выше по всасывающей трубѣ. Послѣ нѣсколькихъ размаховъ вода, поднявъ всасывающій клапанъ С, начинаетъ наполнять цилиндръ А. При движеніи поршня сальна направо клапанъ С' закрывается, и вода, поднявъ нагнетательный клапанъ С' втекаетъ въ котель по нагнетательной трубѣ D'.

Питательные насосы бываютъ *ручные* и *приводные* — отъ главной машины (s. фиг. 286) или отъ самостоятельной небольшой паровой машины. Послѣднія встрѣчаются преимущественно при сильныхъ машинахъ (пар. на высокихъ пароходахъ) и носятъ названіе *фланж* (jeu de cheval), а первые служатъ какъ *запасные*, на случай порчи приводнаго насоса, а также для *наполненія* котла доредъ растопкою.

Питательный насосъ всегда дѣлается *однократно* дѣйствія *ома* *нагнетанія* *одну* *пользу* *въ* *теченіи* *одного* *размаха* *ныряла*, но влѣвъ воды накачиваемой при этомъ насосомъ, долженъ быть равенъ *всѣмъ* *парамъ*, *расходуемому* *машиною*, съ теченіемъ двойнаго размаха пароваго поршня. Обыкновенно всасывающій насосъ съ за-

1) Весьма часто кранъ R помѣщаютъ между клапанами, противъ ныряла; такъ въ кранѣ не только допускають различность дѣйствія насоса, при непрерывномъ дѣйствіи машины, но и служатъ для поправки неправильности дѣйствія насоса, если она съ неправо растопитъ, то при питательномъ дѣйствіи ныряла отъ дѣтъ, черезъ открывающій кранъ, нѣкую трубу воды, съ избыткомъ или прерывистостью ее и жалеть на неплотность насоса напр. неплотность всасывающаго клапана).



насосъ, разсчитывая его на количество воды, *всвое* большее количества расходуемаго машиною пара. Такой насосъ, конечно, долженъ дѣйствовать не непрерывно по временамъ его должно приостанавливать, закрывая кранъ R.

Пусть машина расходуетъ  $W$  килограммовъ пара въ сек. и дѣлаетъ  $m$  оборотовъ въ минуту; тогда объемъ воды, который долженъ быть доставленъ насосомъ въ котелъ въ течение одного оборота будетъ равенъ:

$Q = \frac{W}{1000} \cdot \frac{60}{m}$  куб. м. Замѣтимъ, что хотя закрываніе всасывающаго клапана происходитъ весьма быстро, однако часть воды успѣетъ пройти обратно во всасывающую трубу. Потеря воды, какъ показывають опыты, составляетъ около 15% объема поднимаемой насосомъ воды. Поэтому объемъ насоса будетъ:

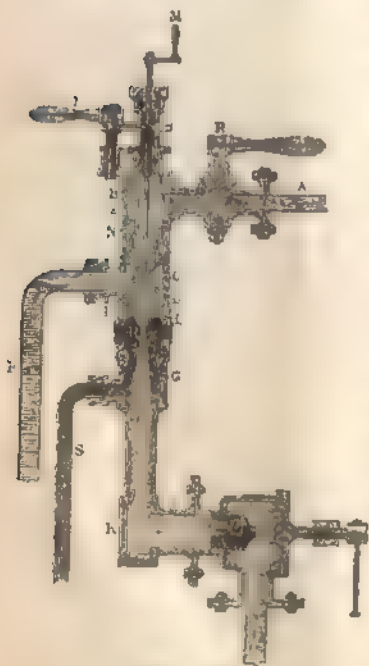
$$Y = 0,85 \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{60W}{1000m} = 0,12 \frac{W}{m} \text{ куб. м. . . (75)}$$

Изъ этого равенства опредѣлится по данному ходу  $l$  діаметръ  $d$  насоса. Весьма неудобно въ практикѣ при расчетѣ питательнаго насоса принимать, что объемъ, описываемый поршнемъ въ одинъ ходъ, составляетъ отъ  $\frac{1}{180}$  до  $\frac{1}{240}$  объема, описываемаго поршнемъ въ одинъ размахъ, и по этому условію опредѣляютъ діаметръ насоса.

**255. Инжекторы.** Подъ именемъ *инжекторовъ* извѣстны паро-

струйные питательные насосы. Они бывають двухъ родовъ: 1) *всасывающіе*, которые могутъ забирать воду снизу и затѣмъ гнать ее въ котелъ и 2) *напорные*, могущіе только гнать въ котелъ воду, притекающую къ нимъ подѣ некоторымъ напоромъ.

На фиг. 227 изображенъ всасывающій инжекторъ, изобрѣенный въ 1859 г. фр. инж. Жиффаромъ. Инжекторъ замѣчательнъ тѣмъ, что онъ дѣйствуетъ какъ насосъ, не имѣя ни одной движущейся части. Вода всасывается и нагнетается въ котелъ струей пара, поступающаго въ инжекторъ изъ того же котла по трубкѣ А, свободной краномъ H. Пройдя черезъ H, паръ проникаетъ черезъ отверстія а, а... внутрь трубки В, изъ которой выходитъ съ огромною скоростью черезъ коническій наконечникъ сѣ С, пройдя по коническому промежутку, образуемому между остриемъ стержня N и наконечникомъ С. Въ началѣ дѣйствія инжектора конусъ



Фиг. 227.

стержня *N* почти вплотную вдвинуть въ свое гнѣздо, такъ что паръ выходитъ черезъ суженное отверстіе *C* тонкою струей (струя эта, вступивъ въ камеру *D*, выгоняетъ заключенный въ ней воздухъ черезъ *прообразовательную* трубку *S*, причемъ паръ конденсируется на холодныхъ стѣнкахъ инжектора. Вслѣдствіе этого въ послѣднемъ (и во всасывающей трубкѣ *F*) образуется разряженное пространство: вода всасывается въ инжекторъ по трубкѣ *F*, но тотчасъ же выходитъ изъ него по трубкѣ *S*. Какъ только показалась вода изъ этой трубки, открываютъ вполнѣ отверстіе *C*, для чего вывинчиваютъ стержень *N* при помощи рукоятки *M* изъ его гайки, наравной въ верхней части трубки *B*. Подъ давлениемъ непрерывной струи пара вода съ большою скоростью вгоняется изъ камеры *D* по каналу *E* въ расширяющійся коническій каналъ *G*, по которому она движется съ постепенно уменьшающеюся скоростью, но съ возрастающимъ давлениемъ (§131), и вступаетъ въ клапанную коробку *K*, а изъ нея, преодоливъ давленіе въ котлѣ, вступаетъ въ этотъ послѣдній черезъ клапанъ *V*—по питательной трубкѣ *L*. Что касается регулированія количества всасываемой воды, то оно основано на болѣе или менѣе сближеніи наковечника *C* и канала *E*, которое достигается вращеніемъ винта *O* влѣту или другую сторону. Высота всасыванія не должна превосходить 4 м. Всѣ части прибора, за исключеніемъ стержня *N*, бронзовыя.

Конденсанія пара въ камерѣ *D* оказываетъ существенное вліяніе на всасываніе воды въ инжекторъ. При *очень высокой* температурѣ всасываемой воды, не допускающей полнаго охлажденія пара, *инжекторъ не действуетъ*. Температура всасываемой воды должна быть гдѣтъ ниже, чѣмъ выше упругость пара, такъ при давленіи пара, 1,5; 2, 2,5; 3, 6 атм., температура воды должна быть не больше 52°; 47°; 43°; 40°; 35°.

*Напорный инжекторъ*, употребляемый главнымъ образомъ при локомотивахъ, представленъ на фиг. 228. Онъ отличается отъ пре-



Фиг. 228

дыдущаго гдѣтъ, что не имѣетъ регулирующаго стержня *N*. Главныя части его составляютъ бронзовая воронка и двуконусная трубка

об, помещенная внутри чугунной или латунной коробки d, разбитой на две камеры e и n перегородкою dd, отлитую за одно съ трубою об. Вода из котла вступает под напоромъ въ лѣвую камеру e (водопроводная трубка на чертежѣ не показана), изъ которой переходитъ въ трубку o, а изъ этой послѣдней черезъ отверстие n вступаетъ въ камеру n; изъ камеры n вода выходитъ наружу по продувальной трубкѣ (на чертежѣ не показанной). Какъ только появилась вода изъ продувальной трубки, выпускаютъ паръ изъ котла въ инжекторъ по трубкѣ e, подъ давлениемъ котораго вода пойдетъ въ котелъ черезъ клапанъ p. Трубка i служитъ для выпуска воды изъ нагнетательной трубы.

Весьма замѣательны двойные инжекторы Кертинга, на 1 также универсальными, состоящие изъ двухъ, заключенныхъ въ одной и той же коробкѣ, инжекторовъ, изъ коихъ одинъ (меньшаго размера) всасываетъ воду, а другой нагнетаетъ ее въ котелъ. Инжекторы Кертинга допускаютъ всасывание воды, нагрѣтой до 70°C.

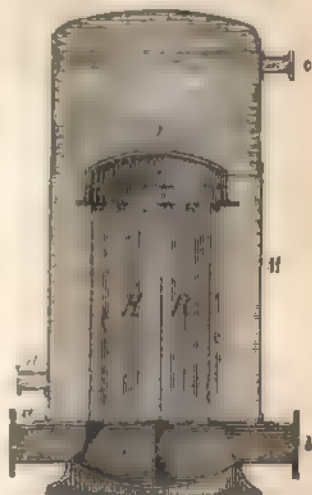
Какъ показываютъ опыты, инжекторъ затрачиваетъ на питание котла работы (въ видѣ теплоты) болѣе, нежели обыкновенный насосъ. Если принять въ соображеніе, что теплота, расходуемая инжекторомъ, тратится не только на механическую работу, необходимую для всасыванія и нагнетанія воды, но и на нагрѣваніе последней, то окажется, что полезное дѣйствіе инжектора выше полезнаго дѣйствія обыкновенныхъ насосовъ. Слѣдуетъ замѣтить, однако, что это преимущество инжектора сохраняется только для тѣхъ случаевъ, когда нагнетаемая вода должна быть потонъ нагрѣта, какъ напр. въ паровыхъ котлахъ. Въ обратномъ случаѣ, инжекторъ не только не даетъ теплоты, сообщенной имъ водѣ, составляетъ потерю. Инжекторы даютъ возможность питать котелъ не только во время хода машины, но и во время остановокъ, что особенно важно для локомотивовъ и пароходовъ. Случается, что инжекторъ не гонитъ воду—откачивается. Причина отказа можетъ заключаться или въ засореніи прибора или въ слишкомъ нагрѣваніи его, въ послѣднемъ случаѣ приборъ должно охладить снаружи мокрою тряпкою.

**256 Подогреватель.** Этотъ приборъ служитъ для подогреванія питательной воды передъ нагнетаніемъ ея въ котелъ. Выгоды подогреванія питательной воды заключаются 1) въ *экономіи топлива*, такъ какъ вода нагрѣвается почти до 90°C; 2) въ *уменьшеніи расхода воды котла* при питаніи сѣбѣею водою; 3) въ *уменьшеніи расхода топлива котла*, изъ которой значительная часть пріобрѣтшей выдѣлится въ подогреватель.

Въ своемъ простѣйшемъ видѣ подогреватель представляетъ горизонтальный желѣзный цилиндръ, нагрѣваемый въ особомъ дымоходѣ, который устраивается между котломъ и борономъ. Питательный насосъ накачиваетъ воду въ этотъ подогреватель, изъ котораго нагрѣтая вода поступаетъ по особой трубкѣ въ котелъ. Болѣе экономиченъ подогреватель (полюэаіагера) Гринга, состоящій изъ большаго числа вертикальныхъ чугунныхъ трубокъ (до 100) и болѣе нам. 10-с, соединенныхъ между собою какъ вверху, такъ и внизу. По этимъ трубкамъ протекаетъ питательная вода передъ входомъ въ котелъ.

На фиг. 220 представленъ въ вертикальномъ разрѣзѣ особаго рода подогреватель, въ которомъ вода нагревается отработавшимъ (магистральнымъ) паромъ. Онъ состоитъ изъ желѣзнаго кожуха *М*, привинченнаго къ чугунной камерѣ *Г*, раздѣленной перегородкою на два части, и системы вертикальныхъ трубокъ *К*, укрѣпленныхъ къ той же камерѣ *Г*. Паръ устремляется изъ машины въ первое отдѣльное камеры по трубкѣ *а*, поднимается по второй группѣ трубокъ въ камеру *К*, изъ которой выходитъ по правой ея группѣ трубокъ *В* и трубокъ *б* наружу. Питательная вода изъ насоса поступаетъ въ подогреватель по трубкѣ *д*, а изъ него въ котелъ по трубкѣ *с*.

При паровыхъ машинахъ съ холодильникомъ нѣтъ надобности въ особомъ подогревателѣ, такъ какъ питательная вода беретъ изъ холодильника, въ которомъ она нагрѣта уже до 45°.



Фиг. 220.

## 257. Паровая куполь; лазъ и люки; паропроводныя трубы

Паръ всегда уноситъ съ собою изъ котла нѣкоторое количество воды, въ видѣ мелкихъ брызгъ, отдѣляющихся при кипѣнии. Въ машинахъ безъ расширенія эта вода не принимаетъ никакого участія въ работѣ, слѣд. теплота, заключающаяся въ ней, составляетъ потерю. Въ машинахъ съ расширеніемъ часть воды испаряется (§ 267) и производитъ работу, потеря теплоты меньше, но испарившаяся вода оставляетъ осадокъ, засоряющій цилиндръ. Отсюда ясна необходимость осушки пара. Съ этою цѣлью на котлѣ ставятъ такъ называемый *паровой куполь* (С, фиг. 208 и 212), служащій резервуаромъ для пара, который терять въ немъ часть своей влажности, прежде поступления въ паропроводныя трубы. Паровой куполь представляетъ желѣзный цилиндръ, приложенный къ котлу и снабженный сверху чугуннымъ вѣнчикомъ, къ которому прикрѣпляются фланцы *предотвращающаго* *клапановъ* и *паропроводныхъ* *трубъ*.

На куполь же (иногда на самомъ котлѣ, фиг. 208, М) устраивается *лазъ* или *орбитинка*, т. е. овальное отверстіе (около 15 с. длиною и 30 с. шириною), черезъ которое проникаетъ разогретый для осмотра и очистки котла отъ накипи. Лазъ закрывается герметическою крышкою, чугунною или желѣзною. Крышку заводятъ въ котелъ вертикально и уже внутри котла ее поворачиваютъ. Уплотненіе крышки производится помощью двухъ скобъ, упирающихся своими тѣлами въ края таза и сдвигиваемыхъ болтами (фиг. 205, 1, пронумерованнымъ съ скобки и крышки). Для герметичности отверстія между краями крышки и таза прокладывается кольцо изъ каучука или асбестовой пакли, пропитанной мастою. Чтобы не

ослабить стѣнки котла къ кромкамъ отверстія лаза приклепывается эллиптическое желѣзное кольцо.

Совершенно сходное съ лазомъ устройство имѣютъ такъ наз. *люки*, т. е. небольшія отверстія (фиг. 305), устраиваемыя въ различныхъ мѣстахъ котла (а также въ переднихъ цинкахъ кипяильниковъ) и служащихъ для *очистки и промывки* котла.

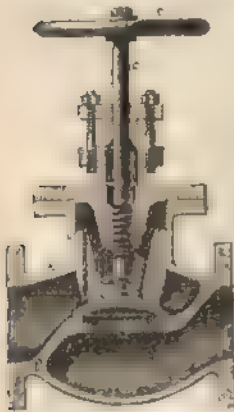
Въ котлѣ берутъ начало *паропроводныя трубы* (обыкновенно чугунныя), по которымъ паръ изъ котла проводится въ машину. Паропроводъ составляется изъ отдельныхъ трубъ (около 2 м длиною), соединенныхъ между собою при помощи фланцевъ и болтовъ. Для устранения течи пара, между фланцами помѣщаютъ *прокладку*, дѣлающую соединеніе герметическимъ: кружокъ изъ вулканизированнаго *каучука*, или кольцо изъ *мыльной проволоки*, или кружокъ изъ проволочной *латунной* стѣлки, обмазанный *сурьмскою замазкою* (изъ равныхъ частей тонкаго порошка свинцовыхъ бѣлизы и сурьки съ небольшимъ количествомъ варенаго льнянаго масла) и т. п. Паропроводъ иногда достигаетъ большой длины. Во избежаніе охлажденія пара на пути къ паровому цилиндру, паропроводъ снабжаютъ одеждою, сдѣланною изъ материаловъ, дурно проводящихъ тепло. Наилучшую одежду составляетъ такъ наз. *инфурная земля* (состоящая изъ кремнезема) въ смеси съ глиною. Нередко для этой цѣли трубы обвиваютъ жгутами изъ соломы. Весьма практична такъ наз. *искусственная трубка* (изолирующая масса Гринберга), которая готовится въ видѣ лентъ, пластинъ и т. п. Длинные паропроводы снабжаютъ краемъ или клапаномъ для выпуска конденсационной воды.

**258 Створный и поворотный клапаны.** Въ паропроводной

трубѣ ставятся обыкновенно 3 клапана два *створныхъ*, одинъ около котла, другой около машины, и одинъ *поворотный* клапанъ у самой золотниковой коробки. Первые два клапана служатъ для прекращенія притока пара въ паровой цилиндръ, а потому должны производить совершенно плотное закрываніе. *Поворотный клапанъ* служитъ для *регулированія притока пара* и соединяется системою рычаговъ съ муфтою регулятора.

На фиг. 230 представляется въ вертикальномъ разрѣзѣ створный клапанъ обыкновеннаго устройства. АА есть *клапанная коробка* или *ложка*, раздѣленный на двѣ части стѣною ВВ, снабженною коническимъ отверстиемъ въ которое вставляются *штырь* С, тщательно обточенное внутри по цилиндру.

На стѣну опирается *клапанъ* D, имѣющій форму тарелки и снабженный



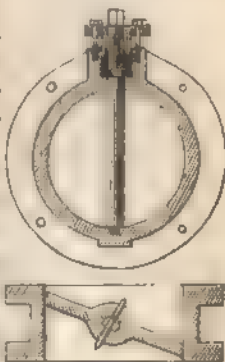
Фиг. 230.



направляющими ребрами d.d. не позволяющими ему уклоняться въ стороны. Такъ какъ клапанъ долженъ герметически закрывать отверстие, то онъ тщательно прискабливается и пригнрается къ своему сѣдлу. Клапанъ и сѣдло отливаются всегда изъ латуни, какъ материала почти не подвергающагося ржавчинной, которая могла бы препятствовать плотному закрыванию отверстия. Движеніе клапанъ получаетъ отъ стержня E, снабженнаго винтовою нарізкою и пропущеннаго черезъ сальникъ. Поворачивая маховичекъ F, прикрепленный къ концу стержня, открываютъ или закрываютъ клапанъ и такимъ образомъ устанавливаютъ или прекращаютъ сообщеніе золотниковой коробки съ котломъ.

**Поворотный клапанъ** изображенъ на фиг. 231. Чугунный кожухъ A имѣетъ форму короткаго цилиндра, служащаго въ то же время сѣдломъ для латуннаго эллиптическаго клапана B. Последний вращается около диаметральной оси C, пропущенной черезъ сальникъ. Наружный конецъ D оси соединяется системою рычаговъ съ муфтою регулятора, отъ котораго онъ получаетъ движеніе.

Створный клапанъ должно открывать какъ можно *медленно*. При быстромъ открываніи этого клапана можетъ произойти сильное *сотрясеніе* котла, могущее служить причиною взрыва. Сотрясеніе это вызывается тѣмъ обстоятельствомъ, что паръ, находясь въ холодный паропроводъ быстро конденсируется, вызывая тѣмъ приливъ повышенн. количества пара, который также почти мгновенно осаждается и т. д., пока не нагреется достаточно паропроводъ. Вѣдствие такого значительнаго расхода пара въ котлѣ установится давленіе, меньшее того, которое соответствуетъ температурѣ воды въ котлѣ. По этой причинѣ образуется сразу огромное количество пара и произойдетъ опасное сотрясеніе всего котла. Отсюда повятея тотъ фактъ, что большая часть взрывовъ котловъ произошла при открываніи створнаго клапана.



Фиг. 231.

**259. Водоспускной кранъ.** (т. фиг. 212 и 213, II -фиг. 208). Онъ служитъ для выпуска воды изъ котла по остановкѣ дѣйствія его на долгое время или въ видахъ чистки, *продушки* котла на ходу. Кранъ сѣдается бронзовый и помещается въ самой нижней части котла. При водѣ, таящей накинѣ, вмѣсто крана ставятъ клапанъ, такъ какъ первый плотно прикипаетъ къ сѣдлу. Вода выпускается изъ крана въ канавку *и* (фиг. 212), которою она отводится въ водостокъ.

**260. Уходъ за котломъ.** *Ходъ котла* заключается пять періодовъ: 1) *подготовки* котла къ дѣйствию; 2) *періодъ растопки* котла; 3) *періодъ правиль-*





При продолжительной остановке, убрав огонь, дают остыть котлу. Когда стрелка манометра дойдет до нуля, выкачают воздух, открыв предохранительный клапан, чтобы не образовалась пустота. Только через 2—3 часа после удаления огня можно пачать выпуск воды, причем производить промывку котла длинными щетками. Через 6—12 часов можно начать починку и чистку.

Если котел должен долго стоять, то чтобы он не ржавел, ставят внутри его сосуды с хлористым кальцием и смазывают шпатель котла сурикавою замазкою или графитом на льняном масле или свиномъясным глицеринъ на тлициринъ. Иногда просто вводятъ въ котелъ горшки съ горящими углями для просушки.

5) Чистка и осмотръ котла. Чистка котла состоитъ въ удалении камня, который отбивается зубиломъ и борозками со всею осторожностью, чтобы не испортить котла, и въ удалении сажи съ наружной поверхности котла при помощи проволоочныхъ щетокъ, а также въ очисткѣ дымоходовъ и бороза отъ насквишаго слоя сажи. Выбейте съ тѣмъ производител чистка арматуры и малый ремонтъ ея: пригирка клапановъ, перемѣна набивокъ и прокладокъ и т. п. Что касается осмотра трещины котла, то онъ имѣеть цѣль открыть поврежденія котла (прогаръ листовъ, разрывины, трещины и т. п. и арматуры, которыя должны быть немедленно устранены.

### З а д а ч и.]

88. Дано: котелъ производитъ 5100 кг пара упругостью въ 6 атм., расходъ 680 кг паръ или паръ содержитъ 10%, воды температуры питающей воды 40. Опре- дѣлить полное давление котла.

89. Сколько кг, каменного угля требуется для образования 10 кг, насыщенного пара упругостью въ 5 атм., изъ воды, которой температура равна 15° С?  $\mu = 0,65$ .

90. Какие размеры долженъ имѣть кожуховый котелъ для паровой машины зад. 103?

91. Опре- дѣлитъ размеры печи для предыдущаго котла, топливно—каменный уголь;  $\mu = 0,60$ .

92. Опре- дѣлить диаметр и нагрузку предохранительнаго клапана для этого котла. Дано: плечъ груза — 0,4 м, плечо давления пара — 0,04 м, радиусъ шара — 0,008 м, вѣсъ рычага — 2 кг, его плечо — 2,02 м, коэфф. тренія  $f = 0,11$ .

## ГЛАВА XI.

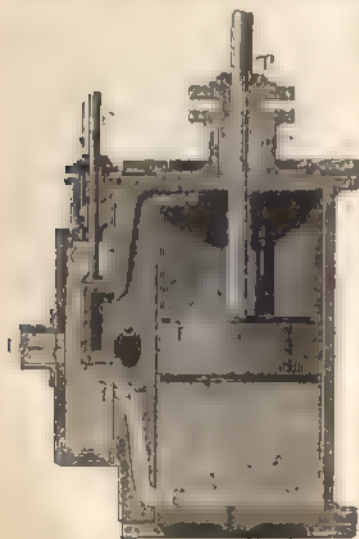
## Паровыя машины.

Общее устройство паровой машины; паровой цилиндръ и его части — Подраздѣленіе паровыхъ машинъ. Работа пара въ машинѣ безъ расширенія — Диаграмма работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ. — Формула Понселе для работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ — Полезная работа паровыхъ машинъ. Полезное расширеніе и охлажденіе пара. Степень расширения. — Расходъ пара въ часъ. — Наибыгодѣйшая упругость пара — Индикаторъ Ричардса. Индикаторная работа. Тепловое полезное дѣйствіе паровыхъ машинъ. Главнѣйшіе размѣры паровой машины. Маховики и регуляторы — Въѣсъ маховика. — Регуляторъ Уатта. Степень нечувствительности регулятора, въѣсъ шарика. — Регуляторъ Портера. Катакты — Статические и астатические регуляторы. — Псевдостатические регуляторы Фарко и Прелли. Задачи.

**261. Общее устройство паровой машины; паровой цилиндръ и его части.** *Паровыми машинами* названы термическія машины, въ которыхъ тепловая энергія преобразизмается въ механическую работу при посредствѣ водяныхъ паровъ. Принципъ преобразованія

состоитъ въ томъ, что паръ, расширяясь въ машинѣ, преодолеваетъ внѣшнее сопротивленіе, т. е. *производитъ работу*, которая соотвѣтвенными органами машины передается исполнительнымъ механизмамъ.

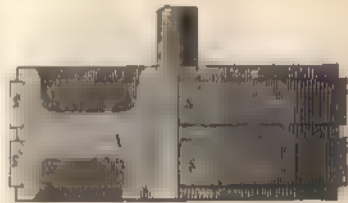
Главную часть паровой машины составляетъ *цилиндръ* (фиг. 232), тщательно расточенный внутри и снабженный фланцами, къ которымъ прикрѣпляются болтами чугунныя же крышки. Во избежаніе течія пара, крышки должны герметически закрывать цилиндръ, для чего фланцы тщательно обрабатываются, а между ними кладется прокладка изъ асбестовой пакли, пропитанной масломъ. Весьма нерѣдко фланцы тщательно прискабливаютъ и въ такомъ случаѣ достаточно между ними ввести тонкій слой суриковой краски.



Фиг. 232.

**Поршень.** Пріемникомъ работы пара въ паровомъ цилиндрѣ служатъ *поршни* К, имѣющіе поступательное возвратное движеніе и представляющіе пустотѣльный чугунный или желѣзный (штампованный) цилиндръ, въ центрѣ котораго укрѣпленъ конецъ круглаго

стержня или *штока* поршня G. Для предупрежденія протечекъ пара между стѣнками цилиндра и поршнемъ, этотъ послѣдній снабжается на вѣншей поверхности такъ наз *набивкою*, которая дѣйствиелью своей упругости плотно прилегаетъ къ стѣнкамъ цилиндра и такимъ образомъ производитъ полное разобщеніе обѣихъ частей цилиндра. Набивкабываетъ двухъ родовъ: *пеньковой* и *металлической*. Пеньковая набивка дѣлается изъ пеньковыхъ прядей, которыя обматываются вокругъ желобка, сдѣланнаго на ободѣ поршня и сжимаются болтами при посредствѣ накладнаго кольца. Въ настоящее время пеньковая набивка употребляется почти исключительно въ насосныхъ поршняхъ, а въ паровыхъ замѣнена металлическою, болѣе прочною и поглощающею меньше работы на треніи. Металлическая набивка состоитъ изъ разрывныхъ колецъ *S, S'* (фиг. 233) чуунныхъ или стальныхъ, которыя раздѣляются въ своихъ гнѣздахъ на ободѣ поршня такъ, чтобы разрывъ не приходился одинъ противъ другаго; самый же разрывъ дѣлается зигзагомъ (abcd). Диаметръ колецъ дѣлается нѣсколько больше внутренняго диаметра цилиндра, вслѣдствіе чего кольца должны быть нѣсколько сжаты для того, чтобы поршень могъ войти въ цилиндръ. Соединеніе штока съ поршнемъ производится или посредствомъ клина или гайки. Это соединеніе должно быть плотно, для чего обѣ части обтачиваются на конусъ и прилифуются.

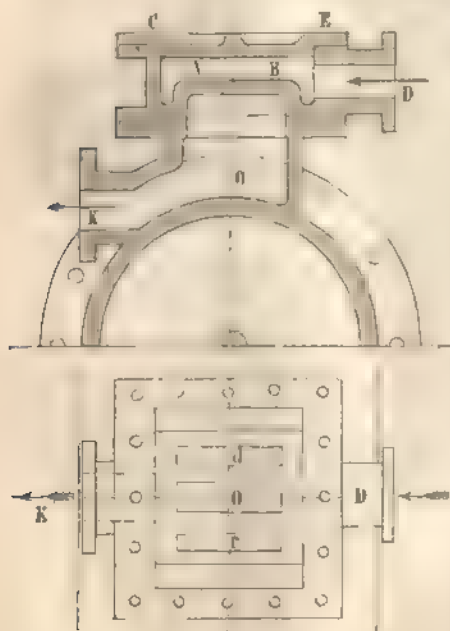


Фиг. 233.

**Сальникъ.** Въ одной изъ крышекъ сдѣлано отверстіе, сквозь которое проходитъ штокъ поршня. Съ цѣлью сдѣлать отверстіе герметическимъ, его снабжаютъ *сальникомъ*, представляющимъ цилиндрическій пустотѣлый приливъ S (фиг. 232), наполненный пропитанными саломъ пеньковыми прядями, которыя сжимаются крышкой, при помощи фланцевыхъ болтовъ. Вслѣдствіе этого сжатія пеньковыя пряди плотно охватываютъ штокъ поршня и тѣмъ предупреждаютъ течь пара изъ цилиндра. На двѣ буквы s помѣщено бронзовое кольцо (такъ наз. *пружинъ-бухсы*), имѣющее назначеніе препятствовать истигиванію пеньковой набивки въ цилиндръ. Для уменьшенія тренія въ сальникѣ штокъ долженъ быть постоянно смазанъ жирною смазкою, для которой въ сальниковой крышкѣ дѣлается соответствующее помѣщеніе. При большихъ горизонтальныхъ цилиндрахъ, для избежанія односторонняго разрабатыванія цилиндра (въ нижней части) дѣйствиелью вѣса поршня и штока, этотъ послѣдній пропускаютъ черезъ другую крышку, въ которой устраивается второй сальникъ. Для предупрежденія несчастныхъ случаевъ выхода изъ концы штока окружаютъ цилиндрическими кожухомъ.

**Распределительная коробка и паровыя оконки.** Изъ пароваго

котла паръ поступает по паропроводнымъ трубамъ не прямо въ паровой цилиндръ, но предварительно вступаетъ (трубою D) въ такъ наз. *распределительную* или *золотниковую* коробку СЕ, близъ которой въ трубѣ D помѣщается *наоборотный* клапанъ, соединенный системно рычаговъ съ регуляторомъ. Распределительная коробка привинчена къ утолщенной стѣнкѣ цилиндра, въ которой сдѣлано три канала *de* *fg* и *O*, имѣющие прямоугольное сѣченіе и окаймляющіеся въ цилиндрѣ близъ крышки. Первые два канала сообщаютъ коробку съ цилиндромъ и наз. *паровпускными*, а каналъ *O* служитъ для сообщенія цилиндра съ атмосферою или холодильникомъ и наз. *паровпускнымъ*. Верхняя поверхность утолщенной стѣнки представляетъ гладко обточенную плоскость, наз. *столомъ*. На фиг. 234 представленъ поперечный разрѣзъ коробки и видъ стола сверху. СЕ есть крышка золотниковой коробки, АВ—золотникъ, Ох — паровпускной каналъ, *d*, *O*, *f* такъ наз. *окошки* паров. каналовъ (т. е. отверстія ихъ въ столѣ).



Фиг. 234.

**Золотникъ.** По столу скользить *золотникъ* АВ, имѣющій форму коробки, получающей движеніе при посредствѣ штока F, пропущеннаго черезъ сальникъ, отъ тяги круга, эксцентрика, насаженнаго на главный валу машины. Золотникъ служитъ для распределенія пара по ту или другую сторону поршня. При положеніи золотника, показанномъ на фиг. 232, паръ изъ распределительной коробки идетъ пролетомъ *fg* въ нижнюю часть цилиндра, давить на нижнюю сторону поршня и двигать его вверхъ; при этомъ движеніи поршень

вытѣсняетъ изъ верхней части цилиндра отработанный (*мачный*) паръ, который идетъ пролетомъ *de* подъ золотникъ и идетъ черезъ каналъ *O* холодитъ въ атмосферу или холодильникъ. Двигаясь сверху внизъ, золотникъ постепенно перекрываетъ оба канала, къ концу хода поршня онъ перекинется внизъ на столъ, что каналъ *de* сообщавшій верхнюю часть цилиндра съ холодильникомъ откроется и нацѣль влечетъ гартъ изъ коробки въ цилиндръ, притекъ поршень начнетъ двигаться сверху внизъ, наоборотъ на-

наль  $fg$ , получивший паръ изъ коробки, установитъ сообщеніе нижней части цилиндра съ атмосферою или съ холодильникомъ. Къ концу хода поршня, золотникъ перекинется снова въ верхнее положение, поршень снова пойдетъ вверхъ и т. д.

*Отсечка.* Въ большей части машинъ выпускъ свѣжаго пара прекращается ранѣ конца хода поршня. Это достигается тѣмъ, что при извѣстномъ положеніи поршня золотникъ закрываетъ пароклапанную каналь и такимъ образомъ прекращаетъ сообщеніе пара съ котломъ или, какъ говорятъ, производитъ *отсечку* пара. Но такъ какъ поступившій имѣетъ извѣстную большую извергнутости малаго пара, то онъ начинаетъ расширяться и продолжаетъ двигать поршень до конца его размаха при постепенно понижающемся давленіи.

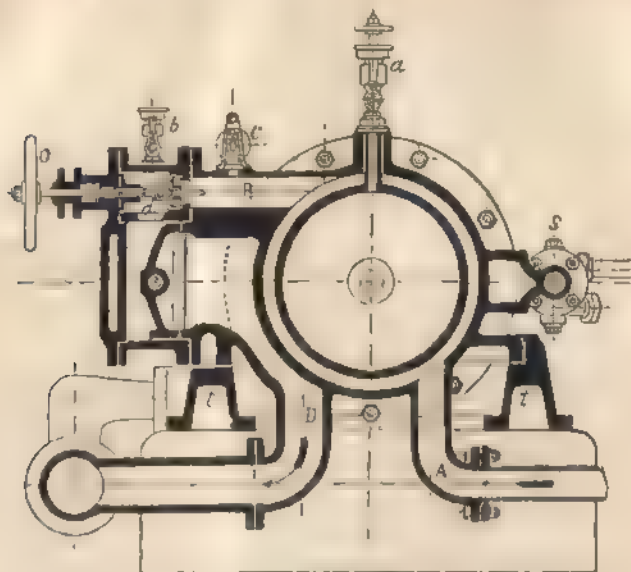
*Вредное пространство.* Длина паропусковыхъ каналовъ  $fg$  и  $de$  должна быть по возможности меньше. Эти каналы при каждомъ размахѣ поршня наполняются свѣжимъ паромъ, который не производитъ работы *полнымъ движениемъ*, участвуя лишь въ работѣ *разширения*. Количество пара, необходимое для заполнения этого пространства, представляетъ потерю, которая тѣмъ больше чѣмъ больше это пространство, наз. *предыма*, и чѣмъ меньше давленіе во вредномъ пространствѣ въ моментъ выпуска пара. Къ вредному пространству принадлежитъ также зазоръ между поршнемъ и крышкой при мертвомъ положеніи поршня. Средняя величина вреднаго пространства не должна превышать 3 % объема, отсчитываемаго поршнемъ. Для уменьшенія вреднаго пространства при длинныхъ цилиндрахъ раздѣляютъ золотникъ на двѣ отдѣльныя части, изъ коихъ каждая представляетъ небольшой золотникъ, движущійся по своему столу. Въ каждой изъ этихъ отдѣльныхъ стоекъ открываются два только канала: одинъ для впуска, другой для выпуска пара изъ соответственной части цилиндра.

*Холодильникъ* представляетъ сосудъ, въ которомъ постоянно поддерживается низкая температура (около  $50^{\circ}$ ), паръ, устремляясь въ него, охлаждается и превращается въ воду, при этомъ давленіе его (обратное давленіе на поршень) падаетъ значительно ниже давленія рабочаго пара. *Разность давленій свѣжаго и малаго пара по обѣ стороны поршня представляетъ движущую поршень силу.*

*Паровая рубашка.* Въ настоящее время почти все цилиндры снабжаются такъ наз. *паровою оболочкою* или *рубашкою*, цѣль которой состоитъ въ прогреваніи цилиндра. Этотъ постѣнный, а иногда и крышки, имѣетъ *обоймныя стѣнки*, между которыми пускается паръ изъ котла, такъ что оболочка находится въ постоянномъ сообщеніи съ котломъ. На фиг. 215 А есть труба, приводящая паръ изъ котла въ рубашку, изъ которой онъ поступаетъ по каналу В въ водо-низовую коробку, пройдя черезъ створный клапанъ  $d$ , снабженный муховичкомъ  $e$ . D есть труба, отводящая паръ въ холодильникъ. При употребленіи паровой рубашки не только увеличи-



вается работа, доставляемая паромъ, но и уменьшается расходъ



Фиг. 235.

пара (до 24%, по опытамъ Гирна <sup>1)</sup>), а, слѣд., и топлива. Опыты Гирна показали также, что экономическое вліяніе рубашки тѣмъ

<sup>1)</sup> Паровая рубашка была патентована Уаттомъ, изобрѣтателемъ паровыхъ машинъ, въ 1769 г., но только въ 1876 г. явилъ ея, по отношенію къ экономіи топлива, была определена Гирномъ изъ ряда опытовъ надъ термическимъ дѣйствіемъ металлическихъ стѣнокъ цилиндра во время работы машины. Изъ этихъ опытовъ оказалось, что при нулевой сѣжаго пара въ цилиндръ безъ оболочки значительная часть его (60% вѣса сухаго пара, расходимаго машиною въ 1 ходъ) конденсируется, подъ вліяніемъ болѣе холодныхъ стѣнокъ цилиндра, покрывая ихъ, а также крышку, поршень и штокъ слоемъ пота. При этомъ стѣнки поглощаютъ до 45% полного количества теплоты, заключающейся въ сѣжаемъ парѣ. Въ періодъ расширения пара часть теплоты, отнятой стѣнками (около 18% изъ 45%), переходитъ снова къ пару, причемъ извѣстное количество сѣжаемой воды превращается въ паръ, содѣйствующій увеличенію полезной работы машины. Остаточное количество сѣжаемой воды испаряется, насчетъ теплоты стѣнокъ, въ періодъ сжатія цилиндра съ холодильникомъ, въ который и уходитъ соответствующее количество теплоты. Въ присутствіи рубашки въ періодъ впуска случалось меньше пара (45%), причемъ стѣнки цилиндра поглощали лишь 37% теплоты пара. Въ періодъ расширения и паразелъ большая часть воды со стѣнокъ, а при сжатіи съ холодильникомъ — остальная, меньшая часть, причемъ въ холодильникъ переходило только 5% теплоты, отнятой стѣнками. Слѣдовательно, въ присутствіи рубашки полезная работа расширения увеличивается, потеря же теплоты въ холодильникъ уменьшается. Тѣже опыты показали, что при парѣ, перегрѣтомъ до 180—200°C, рубашка не приноситъ пользы.

выше, чѣмъ болѣе расширеніе пара и чѣмъ меньше скорость поршня: въ машинахъ безъ расширенія и при большой скорости поршня рубашка не приноситъ почти никакой пользы. Для предохраненія цилиндра отъ наружнаго охлажденія, его окружаютъ наружною одеждою или такъ наз. *кожухомъ*, сдѣланнымъ изъ дурнопроводящаго тепло материала, обыкновенно изъ деревянныхъ планокъ, стянутымъ мѣдными обручами.

**Продувательные краны и маслянки** Въ цилиндрѣ съ теченіемъ времени скопляется вода, а также воздухъ, которые отъ времени до времени должны быть удаляемы изъ него. Для этого цилиндръ снабжается такъ наз. *продувательными кранами*, помещаемыми въ нижней части цилиндра у его крышечки. Передъ началомъ хода машины нѣкоторое время паръ пускается въ атмосферу черезъ эти краны, чѣмъ достигается удаленіе воды и воздуха (*продувка*) изъ паровой рубашки, золотниковой коробки и цилиндра, а также протрѣвание этихъ частей (на фиг. 235 с — продувъ кранъ).

Для уменьшенія тренія и для избѣжанія скорого изнашиванія поршня, станины и золотника, внутренній стѣнки цилиндра, а также столяръ должны быть постоянно смазаны, для чего на цилиндрѣ и коробкѣ устанавливаютъ *маслянки* (а и б, фиг. 235).

**Станины.** Паровой цилиндръ долженъ быть очень точно и солидно укрѣпленъ къ своей *станинѣ*. Неправильная установка способствуетъ скорому изнашиванію трущихся частей и понижаетъ полезное дѣйствіе машины. Небольшія машины могутъ быть скоро и легко установлены на такъ наз. *штыковой станинѣ* (*Кордуса*), которая можетъ быть обработана одновременно съ цилиндромъ (фиг. 259).

**Примѣчаніе** Паръ, работающій въ паровыхъ машинахъ обыкновеннаго устройства, есть *насыщенный паръ*. Насыщенность его превосходить съ сдѣдующихъ причинъ: 1) до отсѣчки онъ имѣетъ сообщеніе съ паровымъ котломъ, 2) онъ всегда уноситъ съ собою изъ пароваго котла нѣкоторое количество воды въ капельномъ состояніи, 3) онъ охлаждается въ цилиндрѣ и частію осаждается, 4) въ цилиндрѣ всегда есть нѣкоторое количество воды, осѣвшей при предыдущихъ размахахъ поршня.

**262. Подраздѣленіе паровыхъ машинъ** Почти всѣ паровыя машины устриваются съ *двойнымъ дѣйствіемъ* пара, т. е паръ выпускается поочередно по обѣ стороны поршня. Машины *простого* или *одиночнаго* дѣйствія, въ которыхъ паръ выпускается только при движеніи поршня въ одну сторону, представляютъ рѣдкое исключеніе<sup>1)</sup>.

По упругости пара въ котлѣ машины раздѣляются: 1) на машины *низкаго* давленія, въ которыхъ упругость пара не превосходить 2 атмосферъ. Въ началѣ паровыя машины, вслѣдствіе неудовлетворительнаго состоянія техники котельнаго дѣла, строились болѣ-

<sup>1)</sup> Подобныя машины встрѣчаются въ нѣкоторыхъ паровыхъ молотахъ, паръ выпускается только при движеніи поршня вверхъ: паденіе молота производитъ его собственнымъ вѣсомъ.

шею частью низкаго давления, но въ настоящее время такія машины совсѣмъ не строятся; 2) *машины среднего давления*, въ которыхъ упругость пара въ котлѣ измѣняется отъ 2 до  $3\frac{1}{2}$  атм. и 3) *машины высокаго давления* съ упругостью пара выше  $3\frac{1}{2}$  атмосферъ.

По способу дѣйствія пара въ цилиндрѣ машины получаютъ слѣдующія названія: 1) *машины безъ расширенія (безъ отсѣчки)*, въ которыхъ паръ дѣйствуетъ полнымъ давленіемъ во все время хода поршня, 2) *машины съ расширеніемъ* (съ отсѣчкой), въ которыхъ паръ дѣйствуетъ полнымъ давленіемъ только на некоторой части хода поршня (до отсѣчки), а послѣ отсѣчки дѣйствуетъ расширениемъ. Расширеніе наз. *постояннымъ*, если отсѣчка происходитъ всегда на одной и той же части хода поршня; если отсѣчка измѣняется, то машины получаютъ названіе машинъ съ *переменнымъ отсѣчкою*.

Въ отношеніи выпуска пара машины образуютъ двѣ группы: 1) *машины безъ охлажденія*. Въ этихъ машинахъ паръ выпускается прямо въ атмосферу. Давленіе мятая пара немного больше атмосфернаго, вследствие сопротивленій, встречаемыхъ имъ при выходѣ изъ цилиндра по кривымъ каналамъ. 2) *машины съ охлажденіемъ*, въ которыхъ мятый паръ выпускается въ холодильникъ. Давленіе мятая пара приблизительно равно тому, какое существуетъ въ холодильнике, т. е. около 0,1—0,2 атмосферы.

Наконецъ, по своему назначенію паровыя машины образуютъ слѣдующія группы: 1) *постоянныя* (неподвижныя) или *фабричныя машины*. Онѣ устанавливаются на прочномъ фундаментѣ и служатъ на заводахъ и въ мастерскихъ для движенія рабочихъ машинъ (станковъ), 2) *локомобили*. Эти машины устанавливаются вмѣстѣ съ котломъ на колесахъ, при помощи которыхъ онѣ легко могутъ быть перемѣщаемы съ одного мѣста на другое. Подобно постояннымъ машинамъ, онѣ снабжаются маховикомъ и регуляторомъ. 3) *локомотивы или паровозы*, въ которыхъ основаніемъ служитъ желѣзная рама, утвержденная на колесахъ, но въ нихъ сила пара служитъ для собственнаго перемѣщенія паровоза съ помощью по рельсамъ. Эти машины не имѣютъ холодильниковъ, маховиковъ и регуляторовъ, 4) *пароходныя машины*, служащія для вращенія колесъ или винта, при помощи которыхъ достигается поступательное движеніе парохода. Эти машины также не имѣютъ маховика и регулятора.

**263. Работа пара въ машинѣ безъ расширенія.** Предположимъ, что упругость рабочаго пара въ цилиндрѣ равна упругости его въ котлѣ. Пусть  $F = \frac{\pi D^2}{4}$  будетъ площадь поршня въ кв. метрахъ,  $P$ —*полное давленіе* на поршень рабочаго пара въ килограммахъ,  $l$ —*длина хода поршня* въ метрахъ,  $p$ —*противодавленіе мятая пара* на поршень и  $m$ —число оборотовъ главнаго вала машины въ минуту. *Полезное давленіе* пара на поршень будетъ  $P - p$ , *работы*

его въ теченіе *одного хода* поршня:  $(P - p) l$  к. м., а въ одинъ оборотъ:  $(P - p) 2l$ , если машина *одвойного дѣйствія*; наконецъ *валовая работа* пара въ секунду будетъ:

$$T_p = (P - p) \frac{2ml}{60} \text{ к. м., или } N = (P - p) \frac{2ml}{60 \cdot 75} = (P - p) \frac{v}{75} \cdot (a)$$

гдѣ  $v = 2ml : 60$  есть *средняя скорость поршня*. Чтобы опредѣлить давленія  $P$  и  $p$  *kg.*, надо знать упругость въ атмосферѣ и рабочаго пара и  $p_0$  — *мятаго пара*. Такъ какъ давленіе одной атм. на кв. м. равно 10334 *kg.* (или приблизительно 1 *kg.* на кв. с.), то давленіе  $P = 10334n$  *F.*, а  $p = 10334n_0$  *F.*, слѣд.,  $P - p = 10334(n - n_0)$  *F kg.*, поэтому формула (a) приметъ видъ:

$$N = \frac{10334(n - n_0)Fv}{75} \text{ п. л. . . . (76)}$$

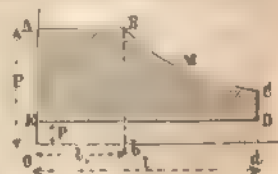
Изъ этой формулы видно, что работа пара въ паровой машинѣ зависитъ 1) отъ *величины упругости* пара; 2) *величины площади поршня*, и 3) его *скорости*. Такимъ образомъ, сравнительно небольшая паровая машина можетъ доставить большую работу, если только упругость пара и скорость поршня велики (*быстроходная машина выдаетъ большее давленіе*), чему примѣры представляютъ локомотивы, которые могутъ доставить работу до 250 — 300 п. л.

При опредѣленіи упругости пара и въ принципѣ пользуются показаніями манометра, который даетъ разность  $n - 1$  давленія пара въ котлѣ и пароваго воздуха. Что же касается *противодавленія* мятаго пара  $n_0$ , то его можно принять равнымъ 0,2 атм. для машинъ съ охлажденіемъ; 1 л. для машинъ безъ охлажденія и 1,5 для локомотивовъ, въ которыхъ мятымъ паромъ пользуются для произведенія искусственной тяги.

*Примѣръ.* Для  $F = 0,174234$  кв. м.,  $l = 0,942$  м.,  $n = 3,5$  атм. и  $n_0 = 24$ ,  $Fv = 0,131303$  хв. м.  $N = 45,23$  п. л. для машины безъ холодильника ( $n_0 = 1$ ) и 61,5 п. л. для машины съ холодильникомъ ( $n_0 = 0,1$ ).

**264. Диаграмма работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ.** Въ машинахъ съ расширеніемъ выпускъ пара въ цилиндръ прекращается раньше конца хода поршня, послѣ отсѣтки рабочій паръ производитъ работу *расширеніемъ*. Такимъ образомъ, работа пара составится изъ двухъ частей. 1) изъ работы пара *поднятіемъ* и 2) изъ работы пара *расширеніемъ*, за вычетомъ въ обоихъ случаяхъ работы *мятаго пара*. Предположимъ, что давленіе пара при выпускѣ въ цилиндръ равно давленію въ котлѣ и что *оригинальное пространство* равно нулю.

Пусть  $Od$  (фиг. 236) будетъ полный ходъ  $l$  поршня, а  $Ob = l_0$  часть хода поршня до отсѣтки, тогда остальная часть хода  $bd$  представитъ путь,



Фиг. 236.

проходимый поршнемъ при расширеніи паровъ. До момента отсѣтки, на пути  $Ob$ , рабочий паръ имѣетъ сообщеніе съ котломъ и, слѣд. сохраняетъ свою упругость и температуру, а потому *линія давленій*, соответствующая этой части хода поршня, будетъ *прямая*  $AB$ , параллельная оси абсциссъ. Опредѣленіе работы полного давленія, при данныхъ условіяхъ, не представляетъ никакихъ затрудненій. Она выразится графически площадью прямоугольника  $OABbO$ .

Съ момента отсѣтки прекращается сообщеніе пара съ котломъ: паръ *расширяется*. Пусть *кривая*  $BM'$  *выражаетъ законъ измѣненія давленія* въ теченіе этого періода расширенія. Работа пари расширеніемъ можетъ быть вычислена только въ томъ случаѣ, если *извѣстенъ законъ расширенія*, который находится въ зависимости отъ *термическихъ свойствъ* стѣнокъ цилиндра. Хотя въ дѣйствительности расширеніе пара въ паровомъ цилиндрѣ сопровождается весьма сложными физическими явленіями, однако, какъ показали опыты, произведенные *Дюу, Фелькнеромъ, Рейге* и др. въ паровыхъ машинахъ, снабженныхъ паровою рубашкою, *законъ расширенія пара ближе всего выражается закономъ Мариотта*, установленнымъ собственно для *постоянныхъ газовъ*, расширяющихся при постоянной температурѣ:  $p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{Const.}$

Въ моментъ, когда поршень придетъ въ *правую мертвую точку*, паровпускной пролетъ дѣлается выпускнымъ и рабочий паръ получаетъ сообщеніе съ холодильникомъ, причемъ давленіе паровъ почти мгновенно падаетъ отъ  $Cd$  до того давленія  $Dd = p$ , какое существуетъ въ холодильнике. Совершающійся въ это время процессъ съ паромъ состоитъ въ охлажденіи его, т. е. почти въ мгновенномъ обращеніи части паровъ въ воду, а, слѣд., и въ расширеніи оставшагося пара непревращеннымъ. Затѣмъ, при обратномъ движеніи поршня отъ  $d$  къ  $O$  происходитъ постепенное уменьшеніе объема смеси паровъ и воды, наполняющей холодильникъ и паровой цилиндръ, причемъ происходитъ постепенное осажденіе и остальной части паровъ, *безъ повышенія температуры*, такъ какъ въ холодильнике постоянно *выбрасывается* холодная вода. Когда поршень придетъ въ *лѣвую мертвую точку*, весь мятый паръ перейдетъ въ холодильникъ и обратится тамъ въ воду. Тамъ какъ на пути отъ  $d$  къ  $O$  температура пара, уходящаго въ холодильникъ, не мѣняется, то и давленіе его остается также неизмѣннымъ (§ 216) а, слѣд., этому пути соответствуетъ *прямая*  $Dd$ , которая изобразитъ *линію давленія мятаяго пари*.

Площадь, ограниченная замкнутою профилею  $ABCdOA$  представить *полную работу* пара въ теченіе одного размаха поршня, а площадь прямоугольника  $OEDd$  представить графически *работу противодавленія* мятаяго пара въ одинъ размахъ, слѣд., работа *полезнаго давленія* выразится заштрихованною площадью  $OABCDdEA$ . Пусть величина ея будетъ  $S$ , величина площади  $OABbO$  —  $S_1$ , пло-



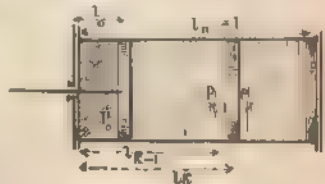
щади  $bBCdb = S_2$ , наконецъ, площади  $OEDdO = S_3$ ; тогда будемъ имѣть:  $S = S_1 + S_2 - S_3$ .

Омкнутая кривая, площадь которой представляетъ работу какой-либо силы, наз. вообще *диаграммою*. Площадь диаграммы определяется или по правилу Симпсона или при помощи особахъ приборовъ, наз. *плимметрами*, изъ коихъ наиболѣе употребителенъ пл. *Амслера*. Положимъ, что тѣмъ или другимъ способомъ мы опредѣлили  $S_1, S_2, S_3$ , а, слѣд., и  $S$  — число кв. мм., заключающихся въ диаграммѣ  $OABCD$ . Для выраженія, по площади диаграммы, работы пара въ к. м. надо знать *масштабъ диаграммы*. Положимъ, что одинъ мм. основанія диаграммы соответствуетъ  $l'$  м. пройденнаго поршнемъ пути, а одинъ мм. высоты — выражаетъ  $p'$  кгс., тогда искома-я работа пара въ к. м. въ теченіе одного хода поршня будетъ:  $T_m = Sp'l' / \text{к. м.}$

**265. Формула Понселе для работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ.** Эта формула была выведена еще въ 1826 г Понселе въ предположеніи, что паръ расширяется, слѣдуя закону Мариотта (§ 264).

Принимая обозначенія §§ 263 и 264 будемъ имѣть: 1) работа пара до отбѣжки  $s_1 = Pl_0$ , 2) работа мятаго пара  $s_2 = pl$ .

Опредѣлимъ теперь работу пара во время расширения на длинѣ  $l = l_0$ . Обозначимъ ее по прежнему буквою  $s_2$ . Пусть  $l_0, l_1, l_2, \dots, l_{k-1}, l_k$ ,  $l_1 = l_0$  будутъ послѣдовательныя разстоянія поршня отъ крѣпленія цилиндра (фиг. 237),  $p_0, p_1, p_2, \dots, p_{k-1}, p_k$ ,  $v_0, v_1, v_2, \dots, v_{k-1}, v_k$  соответствующія давленія на ед. площади и объемы расширяющагося пара и  $F$  — площадь поршня. Если  $l$  очень велико, то разности  $l_1 - l_0, l_2 - l_1, \dots, l_{k-1} - l_{k-2}$  представляющія пути, проходимыя поршнемъ послѣдовательно отъ одного положенія до другаго, будутъ весьма малы, такъ что можно допустить, что соответствующія давленія остаются постоянными во все время этихъ весьма малыхъ расширеній пара. Наконецъ, пусть элементарныя работы, развиваемыя послѣдовательно расширяющимся паромъ при переходѣ поршня отъ одного положенія до другаго, будутъ соответственно  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ . По закону Мариотта имѣемъ:



Фиг. 237.

$$p_0 v_0 = p_1 v_1 = p_2 v_2 = \dots$$

Элементарная работа, развиваемая расширяющимся паромъ при передвиженіи поршня на длину пути  $l_k - l_{k-1}$ , будетъ.

$$\lambda_k = F p_k \cdot (l_k - l_{k-1}) = p_0 v_0 \cdot \frac{(l_k - l_{k-1})}{l_{k-1}}, \text{ откуда } l_k = l_{k-1} \left( 1 + \frac{\lambda_k}{p v} \right).$$



Напишемъ рядъ подобныхъ равенствъ для значеній  $k=1, 2, 3 \dots$  до  $k=n$ ; получимъ:

$$l_1 = l_0 \left( 1 + \frac{\lambda_1}{p_0 v_0} \right); \dots l_k = l_{k-1} \left( 1 + \frac{\lambda_k}{p_0 v_0} \right); \dots l_n = l_{n-1} \left( 1 + \frac{\lambda_n}{p_0 v_0} \right).$$

Перемноживъ эти уравненія одно на другое и положивъ  $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = \lambda_n$ , т. е. принявъ, что безконечно малыя расширения  $l_1 - l_0, l_2 - l_1, \dots$  соответствуютъ равнымъ элементарнымъ работамъ расширяющагося газа, что всегда возможно допустить, будемъ имѣть:  $l_n = l_0 \left\{ 1 + \frac{\lambda_n}{p_0 v_0} \right\}^n$ ; но  $\lambda_n = \frac{s_2}{n}$ , следовательно:

$$l_n = l_0 \left\{ 1 + \frac{s_2 : p_0 v_0}{n} \right\}^n.$$

Пределы выраженія  $\left\{ 1 + \frac{s_2 : p_0 v_0}{n} \right\}^n$  при увеличеніи  $n$  до  $\infty$  равны  $e^{\frac{s_2}{p_0 v_0}}$ , гдѣ  $e$  есть основаніе непрерывныхъ или натуральныхъ логарифмовъ, поэтому  $l_n = l_0 e^{\frac{s_2}{p_0 v_0}}$ , откуда, такъ какъ  $l_0 = l$ ,  $v_0 = F l_0$  и  $P = p_0 F$ :

$$s_2 = P l_0 \log. \text{nat.} \frac{l}{l_n}.$$

Такимъ образомъ, полная работа пара въ теченіе одного хода поршня будетъ:

$$T_m = s_1 + s_2 - s_3 = P l_0 + P l_0 \log \frac{l}{l_n} - p l,$$

или

$$T_m = P l_0 \left[ 1 + \log \varepsilon - \frac{p}{P} \varepsilon \right],$$

гдѣ  $\varepsilon = \frac{l}{l_n}$  есть такъ наз. *степень расширенія*, которая тѣмъ больше, чѣмъ больше расширеніе, т. е. чѣмъ больше часть  $l$ , хода поршня, проходимая при полномъ давленіи, сравнительно съ размахомъ  $l$ . При  $n$  оборотахъ въ минуту, работа пара въ секунду въ машинѣ двойнаго дѣйствія будетъ:

$$T_m = P \frac{2ml_0}{60} \left\{ 1 + \log \varepsilon - \frac{p}{P} \varepsilon \right\} \dots \dots \dots (77)$$

Выражая давленіе пара въ атмосферахъ (§ 263), получимъ

$$T_m = 10334 \text{ nF} \frac{2ml_0}{60} \left( 1 + \log \varepsilon - \frac{p}{n} \varepsilon \right) \text{ л. м.} \dots \dots \dots (78)$$

Положивъ въ этомъ ур.  $\epsilon = 1$  (машина безъ расширения), т е  $l_0 = 1$ , получимъ известную формулу (§ 263).

$$T_m = 10334 (p - p_0) Fv.$$

*Примѣръ:* Для  $F = 0,174234$  кв. м.;  $l = 0,942$  м.,  $\epsilon = 3$ ,  $p = 3,5$  атм.  $p_0 = 1$ ;  $m = 24$ ,  $T_m = 1965$ ,  $3$  к. м.  $= 26,2$  п. л.; а для машины съ охлажденіемъ ( $p_0 = 0,1$ ):  $T_m = 9186,6$  к. м.  $= 42,5$  п. л.

**266 Полезная работа паровыхъ машинъ.** Полезная работа паровыхъ машинъ, передаваемая валомъ маховика, значительно меньше той, какая получается по формуламъ предыдущихъ §§. Главнѣйшія причины потери работы заключаются въ *трении поршня* и другихъ движущихся частей, въ *течи* и въ *охлажденіи* пара при переходѣ изъ котла въ цилиндръ, влекущемъ за собою *уменьшеніе его давленія*, (опытъ показываетъ, что упругость пара въ цилиндрѣ составляетъ только  $\frac{3}{4}$  до  $\frac{1}{2}$  давленія его въ котлѣ. Если напр., манометръ показываетъ избытокъ давленія въ котлѣ въ 4 атм., т е. 5 атм. абсолютной упругости пара, то упругость его въ цилиндрѣ будетъ лишь 3  $\frac{3}{4}$  до 4 атм. и тѣмъ больше, чѣмъ лучше защищены паропроводъ отъ охлаждения и чѣмъ меньше встрѣчаетъ въ немъ паръ сопротивленій (при проходѣ черезъ краны, клапаны и т. п.).

Въ машинахъ съ расширеніемъ, въ которыхъ *регулированіе хода производится измѣняемымъ вѣсткомъ*, разность упругости пара въ котлѣ и цилиндрѣ незначительна (около 5<sup>ю</sup> „), но она гораздо больше въ тѣхъ машинахъ, въ которыхъ *регулированіе хода производится при помощи поворотнаго или створнаго клапана*; по выходѣ изъ суженнаго отверстія паръ *расширяется*, причѣмъ давленіе его *понижается*. Вѣдѣние *податнаго торможения* получается паръ меньшей упругости, но его получается больше по объему, уменьшается *расходъ пара*, т е. количество (по вѣсу) притекающаго въ цилиндръ пара въ еѣ времени, самый паръ дѣлается *суше*, вслѣдствіе того, что часть содержащейся въ немъ влаги, нагрѣтой до температуры, соответствующей упругости пара до прохода его черезъ клапанъ, обращается въ паръ, меньшей упругости.

Пусть  $\mu$  будетъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія паровой машины, тогда ея полезная работа выразится,

$$T_n = \mu T_m \text{ к. м., или } N = \frac{\mu T_m}{75} \text{ п. л. . . . (79)}$$

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены величины  $\mu$ , найденныя при помощи нажима Прови для различныхъ машинъ:

Полезная работа Н п. з.	до 15	до 25	до 45	до 65	> 65
Машины без охлаждения и расширения. . . . .	0,6	0,62	0,70	0,75	0,80
Машины без охлаждения, но с расширением. . . . .	0,52	0,60	0,65	0,70	0,75
Машины с охлаждением и расширением. . . . .	0,55	0,60	0,65	0,68	0,70

**267. Польза расширения и охлаждения пара.** Польза расширения пара заключается в томъ, что одно и тоже количество пара даетъ большую работу, т. е. для произведенія *извѣстной работы требуется меньше пара и, слѣд., меньше топлива.* Это заключеніе становится яснымъ изъ разсмотрѣнія диаграммы ABCDE (фиг. 236). Въ теченіе одного хода поршня расходуется объемъ пара, равный  $E_1D_1$ . Если бы этотъ объемъ пара дѣйствовалъ безъ расширения, то онъ доставилъ бы работу, выраженную площадью прямоугольника ABDE, являющагося же *потѣй* объемъ работы послѣ отсѣлки еще расширениемъ, мы выигрываемъ работу, выраженную криволинейною площадью BCD.

Другая не менѣе значительная выгода расширения состоитъ в томъ, что паръ *перестываетъ* (§ 216) на счетъ теплоты стѣнокъ цилиндра (въ машинахъ съ паровою рубашкою или обшивкою), причемъ механически введенная имъ вода обращается въ паръ, который также производитъ работу, въ машинахъ же безъ расширения, какъ извѣстно, эти частицы воды остаются безъ дѣйствія, ибо паръ все время остается насыщеннымъ. Сверхъ того, въ работѣ расширения принимаетъ участіе паръ, заключенный во вреднохъ пространствахъ, между тѣмъ какъ въ машинахъ безъ расширения этотъ паръ составляетъ чистую потерю.

Но должно замѣтить, что такъ какъ упругость пара въ теченіе хода поршня въ машинахъ съ расширениемъ значительно измѣняется, вслѣдствіе чего измѣняется значительно усиліе, вращающее кривошипъ, то для уравниванія хода машины потребуются болѣе тяжелый маховикъ (§ 275), который оказывается необходимымъ даже въ томъ случаѣ, если машина не имѣетъ вращательнаго движенія (паровые насосы, воздухоудельныя маш. и. т. п.). Наконецъ, легко видѣть, что машины съ расширениемъ должны имѣть болѣе большіе размѣры, нежели м. безъ расширения одинаковой съ ними силы, слѣд., выйдутъ дороже, но *расходъ пара и топлива для первыхъ будетъ меньше, нежели для вторыхъ.*

Что касается пользы, приносимой холодильникомъ, то она понятна изъ соображенія, что работа пара въ цилиндрѣ зависитъ не только отъ величины давления рабочаго пара, но также и отъ величины противодействия мятаго пара; чѣмъ меньше это противодействие, тѣмъ больше работа пара. въ машинахъ же съ холодильникомъ это противодействие значительно меньше, нежели въ машинахъ безъ холодильника. Должно замѣтить, однако, что выгода доставляемая холодильникомъ, тѣмъ менѣе чувствительна, чѣмъ выше давленіе паровъ въ котлѣ. Такъ какъ устройствомъ холодильника усложняется машина и требуются особые насосы для постоянного доставленія въ холодильникъ холодной воды, а также и для извлеченія накопившихся въ немъ продуктовъ охлажденія пара, и такъ какъ на сообщеніе движенія этимъ насосамъ необходимо затратить нѣкоторую часть работы, то дѣлается понятнымъ, что *въ машинахъ высокаго давленія холодильникъ будетъ приносить весьма мало пользы*, а потому машины высокаго давленія всего чаще бываютъ безъ холодильниковъ. Заключение это впрочемъ относится только до машинъ высокаго давленія и безъ расширенія или же съ расширеніемъ небольшой степени, какъ это имѣетъ мѣсто, напр., въ локомотивахъ. Въ машинахъ же высокаго давленія и при болѣе сильной степени расширенія холодильникъ будетъ полезенъ въ томъ именно отношеніи, что только при его отсутствіи и можно будетъ достигнуть болѣе сильной степени расширенія.

**268. Степень расширенія.** Степенью расширенія, какъ было объяснено въ § 265 наз. отношеніе объема расширившагося пара (въ концѣ расширенія) къ объему пара до отсѣчки, т. е.  $\frac{V_1}{V_1'}$  —

$= \frac{1}{1_0} = \epsilon$ . Если отсѣчка производится на  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{3}$  и т. д. хода поршня, то степень расширенія равна 2, 4, 3., при чемъ говорить: машина работаетъ съ 5-нымъ, 4-ымъ, тройнымъ и т. д. расширеніемъ. Расширеніе пара нельзя доводить до такой степени, чтобы давленіе пара въ концѣ расширенія сдѣлалось равнымъ давленію въ холодильнике, по той причинѣ, что къ противодействию мятаго пара присоединяется *трение*, которое можно разсмагивать тоже какъ *противодавленіе на поршень*, слѣд. расширеніе не слѣдуетъ продолжать дальше того предѣла, когда давленіе пара съ рабочей стороны сдѣлается равнымъ суммѣ этихъ давленій: расширеніе за этимъ предѣломъ вчеть за собою потерю работы, также какъ расширеніе, не доводимое до этого предѣла.

Принявъ среднимъ числомъ потерю работы на треніе въ 20%, найдемъ, что сила тренія отнесенная къ поршню, можетъ быть выражена 0.2 средняго давленія пара, или, приблизительно, 0.1 наибольшаго его давленія. Напр., для машинъ средняго давленія треніе будетъ измѣряться давленіемъ 0.2 - 0.35 атм., среднее давленіе

въ холодильники  $= 0,2$  атм.: слѣд., полное противодавление на поршень будетъ:  $p_0 = 0,4 - 0,5$  атм., поэтому наименьшая упругость пара не должна быть  $< 0,4 - 0,5$  атм. для машинъ съ охлаждениемъ, а для машинъ безъ охлаждения  $< 1,2 - 1,35$  атм. Если первоначальное давленіе пара было 1 атм., то для этого онъ долженъ расшириться около 7 разъ противъ первоначальнаго объема. Такое значительное расширение допускается въ машинахъ Вудлифа и комбинированныхъ, при расширеніи же въ одномъ цилиндрѣ, для избежанія слишкомъ большихъ размѣровъ послѣдняго, действуютъ меньшей степени расширения, не превышающей 3—5. Изчисленія и опытъ показываютъ, что для каждаго рода машинъ существуетъ *наиболѣе выгодная степень расширения*, при которой работа пара, при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, выходитъ максимумъ; величины ихъ приведены въ § 277.

**269 Расходъ пара въ часъ.** Весьма важно знать, какъ долженъ быть великъ котелъ, для того чтобы онъ могъ доставлять требующее машиною количество пара данной упругости. Для рѣшенія этого вопроса необходимо знать сколько килограммовъ или фунтовъ пара расходуетъ машина въ часъ. Изъ предыдущаго ясно, что для произведенія одинаковой работы въ одинаковое время не всѣ машины требуютъ одинаковое количество пара; болѣе совершенныя машины будутъ расходовать его меньше, нежели машины, менѣе совершенныя, такъ, машина съ расширеніемъ и охлаждениемъ расходуетъ менѣе пара, нежели машина безъ расширения.

На основаніи многочисленныхъ опытовъ можно принимать слѣдующія среднія величины расхода пара на одну паровую лошадь полезной работы въ часъ: въ машинахъ Корлисса 11 klg., въ м. съ расширеніемъ 18 klg., въ м. безъ расширенія 30 k. Напримеръ, обыкновенная машина съ расширеніемъ въ 40 и л. полезной работы будетъ расходовать въ часъ 720 klg., и такое же количество пара въ часъ будетъ расходовать машина безъ расширенія въ 24 и. л. Отсюда видна выгода болѣе совершенной, хотя и болѣе дорогой машины.

Зная расходъ пара, не трудно определить величину поверхности нагрева котла по данностямъ § 230, а по этой послѣдней диаметръ, длину и прочіе размѣры котла данной системы.

**270. Наивыгоднѣйшая упругость пара.** Такъ какъ работа пара, какъ это видно изъ формулы (77), зависитъ отъ величины упругости пара въ котлѣ, то представляется вопросъ, какъ велика должна быть эта упругость при данной системѣ паровой машины, для того чтобы паръ достигалъ *наиболѣе возможную работу при наименьшей затратѣ топлива*. Для рѣшенія этого вопроса рассмотримъ работу *паровой машины безъ охлаждения*, которая при

одинаковыхъ условіяхъ (та же степень расширенія, число оборотовъ) одинъ разъ дѣлается паромъ въ 4 ат., а другой—въ 7 ат.

Такъ какъ противодавленіе мятаго пара равно 1 ат., то полезное давленіе пара на поршень въ первомъ случаѣ равно 3 ат., а во второмъ 6 ат., а какъ всѣ остальные условія одинаковы, то работы пара будутъ относиться какъ 3·6 или 1·2. Замѣчая же, что *расходъ пара по объему* въ обоихъ случаяхъ одинаковъ, и что всѣя ед. объема пара (такъ наз. *удѣльные веса*) относятся приблизительно какъ упругости (§ 217), найдемъ отношеніе *расходовъ пара по весу* 4·7 или 1<sup>3</sup>. Въ такомъ же отношеніи будутъ находиться между собою *количества теплоты*, затраченной на образованіе пара, а. е. т. е., и *расходы топлива*, ибо количество теплоты потребное для образованія 1 klg. пара низкаго или высокаго давленія почти одно и тоже (§ 218). Такимъ образомъ, *цѣлесообразность расхода топлива въ 1<sup>3</sup> разъ достигнута удорожаніемъ работы въ 2 раза, исключительно благодаря применению пара высокаго давленія*. Если принять въ соображеніе, что въ машинахъ высокаго давленія цилиндры и другія части машины имѣютъ сравнительно небольшіе размѣры и что въ такихъ машинахъ является возможность примѣнить значительное расширеніе, ведущее, какъ известно, къ большому сбереженію топлива, то становится понятнымъ стремленіе примѣнять въ машинахъ *безъ холодильника* высокое давленіе пара (въ постоянныхъ машинахъ до 7 ат., въ локомотивахъ до 12 ат. и болѣе).

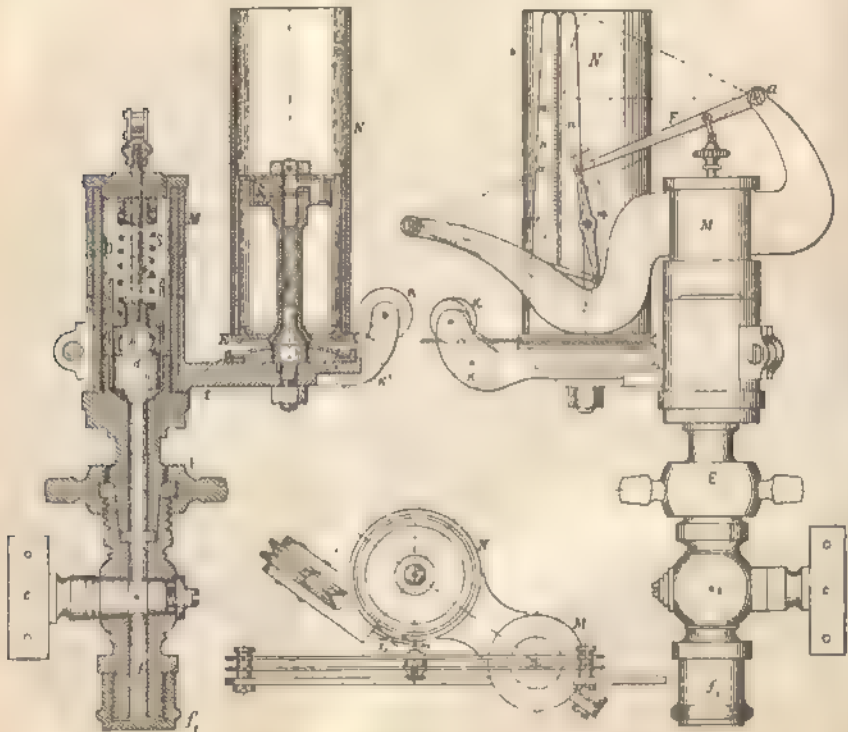
Иные результаты получаются для *машинъ съ холодильникомъ*. Вѣдѣтіе незначительности противодавленія мятаго пара (въ среднемъ 0,2 атм.), отношеніе работъ пара при 4 атм. и 7 атм. выходитъ только 3,8 6,8 или 1·1,79. Но такъ какъ отношеніе расходовъ пара остается тоже, что и прежде, именно 1·1,75, то выигрышъ въ работѣ, вѣдѣтіе примѣненія пара высокаго давленія получается крайне незначительный, потому въ машинахъ съ холодильникомъ рѣдко упругость пара превышаетъ 5 атм.

**271. Индикаторъ и индикаторная работа.** Индикаторъ, изобрѣтенный *Уаттсомъ* почти одновременно съ паровою машиною, принадлежитъ къ числу *механическихъ измерительныхъ*, но примѣняется исключительно къ паровымъ машинамъ для измѣренія работы пара въ паровомъ цилиндрѣ, его упругости, для опредѣленія закона расширенія пара и многихъ другихъ обстоятельствъ, сопровождающихъ работу пара въ цилиндрѣ. Будучи сообщенъ съ цилиндромъ индикаторъ чертитъ диаграмму работы пара, подобную фиг. 236 и наз. *индикаторною диаграммою*.

На фиг. 238 представленъ индикаторъ *Ричардса*, наиболѣе распространенный въ настоящее время. Онъ состоитъ изъ латуннаго цилиндрика *d*, въ которомъ плотно ходитъ поршень *A*, нажимаемый спиральною пружиною *s*, цилиндрикъ *d* связанъ съ ци-



цилиндръ D большого діаметра, закрытымъ сверху крышкой, въ которой сдѣлано отверстіе, устанавливающее постоянное сообщеніе его съ атмосферою. Короткая стальная пружина с снабжена по концамъ латунными припаянными гайками, при помощи которыхъ, она соединяется съ поршнемъ и крышкой. Цилиндры d и D соединены посредствомъ муфты E съ краномъ C, который ввинчивается въ паровой цилиндръ. Давленіе пара въ индикаторъ такое же, какъ и въ паровомъ цилиндрѣ (для достиженія этого индикаторъ



Фиг. 238.

прежде чѣмъ сообщить съ цилиндромъ, прогнѣваютъ, открывъ лишь немного кранъ, причемъ паръ будетъ выходить черезъ отверстіе O въ кожухъ крана. Это давленіе сжимаетъ спиральную пружину, величина сжатія которой пропорціональна давленію и потому можетъ служить для его измѣренія. При индикаторѣ Ричардса имѣется 9 пружинъ с для слабого давленія пара — болѣе слабая пружина — тщательно вывѣренныя, и для каждой изъ нихъ прилагается особый масштабъ; дѣленія этихъ масштабиковъ, соответствующія той или



степенно изменяется сообразно съ измененіемъ давленія пара аѳ, есть горизонтальная линия, описанная въ теченіе *выпуска рабочего пара* въ цилиндръ. Не есть такъ наз. *индикаторная кривая расширения*; она соответствуетъ периоду расширения пара и, такъ по казали многочисленные опыты надъ машинами съ паровою рубашкою почти совпадаетъ съ такъ наз. *марриоттоской кривою*, т. е. кривою, изображающею графически законъ Марриотта. Однако случаются болѣе или менѣе значительныя отклоненія индикаторной кривой расширения отъ марриоттоской, причиною которыхъ служатъ неперманентное состояніе машины (напр., негерметичность поршня золотниковъ, сильное нагрѣваніе или негерметичность холодильниковъ и т. п.). Въ точкѣ  $g$  давленіе расширяющагося пара равно атмосферному въ концѣ расширения и упругость его менѣе атмосферы (около 0,7 атм.) и въ моментъ *выпуска* пара падаетъ вдругъ до давленія въ холодильникъ (ке). При *обратномъ ходѣ* поршня давленіе почти не падается, а потому линия  $eg$  почти параллельна  $MN$ . При концѣ обратнаго хода поршня опять выпускаютъ паръ съ той же стороны поршня, какъ и при началѣ прямаго хода, при этомъ карандашъ сразу поднимается изъ  $d$  въ точку  $a$ . Наконецъ, линия  $ek$  есть *линія абсолютной пустоты* (вакуума), она наносится на диаграмму послѣ снятія бумаги по данному масштабу пружины.

Существенное отличие индикаторной диаграммы отъ диаграммы, представленной на фиг. 236 заключается въ болѣе или менѣе *закругленіи плечей*  $A$ ,  $B$  и  $E$ , обусловливаемомъ некоею потерю работы. Причина закругленія  $a$  и  $b$  (фиг. 236) — *торможение* пара (§ 262), происходящее золотникомъ. При возможномъ положеніи поршня золотникъ держитъ выпускное окно открытымъ лишь на очень малую величину, вследствие чего паръ *тормозится*, т. е. при выходѣ черезъ суженное отверстіе упругость его падаетъ, подобное торможение пара происходитъ болѣе отъѣмки, вследствие чего, что золотникъ не сразу закрываетъ выпускное окно, а постепенно. Наконецъ причина закругленія угла  $d$  состоитъ въ томъ, что послѣ  $a$  мертвой точки поршня прекращается одновременно всасуека пара при чемъ поршень сжимаетъ оставшіеся паръ, вследствие чего его упругость постепенно увеличивается.

Изъ величины площади  $abcd$  индикаторной диаграммы не трудно опредѣлить работу пара въ цилиндрѣ. Пусть  $i$  будетъ число мм., заключающееся въ этой площади. Положимъ что одинъ миллиметръ перемѣщенія карандаша представляется  $p$  килограмм., и что одинъ миллиметръ длины  $ek$  соответствуетъ пути 1' метровъ, пройденному поршнемъ, тогда работа пара въ килограммѣсахъ въ теченіе простого хода поршня будетъ  $i \cdot p \cdot 1'$ . Повторяя такой опытъ съ индикаторомъ нѣсколько разъ попеременно то съ одной, то съ другой стороны поршня, можно будетъ вывести вѣроятнѣйшій ре-

зультатъ, взявъ среднюю арифметическую изъ этихъ наблюдений. Если машина двойнаго дѣйствія и дѣлаетъ въ минуту  $m$  оборотовъ, то работа въ секунду будетъ:

$$T_m = \frac{2\pi l m}{60} \text{ к. м., или } N = \frac{2\pi l m}{60 \cdot 75} \text{ пар. л. . . (89)}$$

Определенная такимъ способомъ работа  $N$ , носитъ названіе *индикаторной работы*. Этотъ опытный способъ опредѣленія валовой работы паровой машины весьма часто употребляется въ практикѣ. Индикаторная работа, очевидно, менше теоретической работы, вычисленной по формулѣ Понселе, такъ какъ при выводѣ послѣдней не была принята въ соображеніе потеря давления при переходѣ пара изъ котла въ цилиндръ.

Отношеніе  $k = \frac{N}{N_0}$  полезной работы машины, опредѣляемой помощью нажима Прони, къ индикаторной работѣ носитъ названіе *индикаторнаго коэфф. полезной работы машины*. Онъ измѣняется не только съ скоростью машины, но и для каждой машины съ ея скоростью; среднее значеніе его можетъ быть принято равнымъ 0,8.

Какъ было уже замѣчено, индикаторная диаграмма даетъ возможность не только опредѣлить работу пара, но и производить изслѣдованіе закона раздиренія пара и проверку правильности дѣйствія внутреннихъ органовъ машины: вслѣдствіе, поршней, ходовъ, дилатера. При опытахъ съ индикаторомъ слѣдуетъ снимать диаграммы съ обоихъ концовъ цилиндра. Разница въ степени расширенія на обоихъ диаграммахъ укажетъ на *нравственность центровки* вслѣдствіе, *нравственность вслѣдствіе*, допускающая доступъ пара въ цилиндръ и послѣ отсѣчки, отразится на диаграммѣ возмущеніемъ давления пара къ концу хода, *нравственность вслѣдствіе*, допускающая темъ расширенію пара въ переднюю часть цилиндра отразится повышеніемъ давления живого пара, чрезмѣрное расширеніе пара дастъ *нравственность* въ углу с диаграммы, а чрезмѣрное сжатіе — *нравственность* въ углу а и т. д.

**272. Тепловое полезное дѣйствіе паровыхъ машинъ.** Кромѣ коэфф. механическаго полезнаго дѣйствія паровыхъ машинъ, который измѣряется отношеніемъ полезной работы  $N$  машины къ теоретической или индикаторной работѣ пара, для оцѣнки экономическаго дѣйствія паровыхъ машинъ служить такъ наз. коэфф. *тепловаго полезнаго дѣйствія*, который измѣряется отношеніемъ полезной работы машины къ запасу энергии топлива, сжигаемаго въ цилиндръ.

Для опредѣленія запаса энергій топлива, необходимо знать: 1) количество теплоты, развиваемой топливомъ въ тонкѣ и 2) такъ наз. *механически эквивалентъ теплоты*, т. е. количество работы, получаемой изъ одной ед. теплоты, при преобразованіи теплоты въ механическую работу. Изъ

физики известно, что из *одной* *ед.* теплоты *всегда* получается 124 к. м. работы. Поэтому, напр., в *лучших* *существующих* *машинах*, (Корнесса, Зудлера, Кольмана), в которых на 1 п. л. полезной работы расходуется в *час* около 0,4 кг. кам. угля, имѣющего теплотворную способность въ 7000 ед. т. *пары* *работы*, заключающійся въ этомъ количествѣ угля равенъ  $0,4 \cdot 124 \cdot 7000 = 237400$  к. м. Но *полезная* *работа* *машины* *равна*  $1,75 \cdot 3600 = 270000$  к. м., слѣд., *коэффициентъ* *тепловой* *полезной* *описанных* *машии*  $= \frac{237400}{270000} = 0,1137$ , т. е. изъ находящагося въ нашемъ распоряженіи запаса работы употребляется въ пользу только 11,37%. Въ *хорошихъ* *машинахъ* на каждую п. л. расходуется 2 кг угля, слѣд. употребляется въ пользу только 1,5% запаса работы. Наконецъ, обыкновенныя машины расходуютъ около 4 кг угля в часъ на 1 п. л., слѣд. въ нихъ идетъ въ пользу лишь 2%, запаса работы.

Этотъ способъ оценки паровыхъ машинъ, предложенный впервые Регенбахомъ, даетъ полезное дѣйствіе всего устройства котла и машины.

**273. Определение главнѣйшихъ размѣровъ паровой машины.** Определение размѣровъ цилиндра по данной силѣ  $N$  машины (полезной работы) производится на основаніи формулы Понселя:

$$76N = kP \frac{\pi D^2}{4} \frac{2ml_0}{60} (1 + \log \epsilon - \frac{P}{P_0} \epsilon),$$

откуда подставивъ вмѣсто  $\frac{2ml_0}{60} = \frac{2ml}{(x)} \cdot \frac{l_0}{1} = \frac{2ml}{(x)} \cdot \frac{1}{\epsilon} = \frac{c}{\epsilon}$ , гдѣ  $c$  есть средняя скорость поршня, найдемъ:

$$D = \sqrt{\frac{N \cdot 76 \cdot 1,273}{kPc (1 + \log \epsilon - \frac{P}{P_0} \epsilon)}} \quad (81)$$

При расчетѣ величинъ, входящихъ въ составъ знаменателя, должно брать *наименьшія* *значенія*, определяемыя изъ опыта.

Во-первыхъ, среднее давленіе  $p$  мятая пара можетъ быть, согласно съ опытами, принято равнымъ  $p = 1,1$  атм для машинъ безъ охлажденія;  $p = 0,2$  — для машинъ съ охлажденіемъ и  $p = 1,2$  до 2 атм для локомотивовъ, въ которыхъ мятый паръ встрѣчаетъ при выпускѣ значительныя сопротивленія.

При выборѣ скорости  $c$  можно руководствоваться слѣдующею таблицей (Рейхе):

обыкновенныя машины, при $P < 5$ атм.,	$c = 1$	до 1,5 м.
паровозы . . . . .	$c = 1,5$	2,5 "
прокатныя машины . . . . .	$c = 3$	4,4 "
сорокоходныя " . . . . .	$c = 3$	5,3 "
скороходныя " . . . . .	$c$	до 5,7 "

Затѣмъ должно выбрать *наименьшую* *степень* *расширенія*  $\epsilon$ . Величины ея для различныхъ машинъ приведены въ слѣдующей таблицѣ (Грабака):

N	Машины без охлаждения.					Машины съ охлажденіемъ.				
	7	20	60	180	Предѣлъ навыгодн. отсѣчки	7	20	60	180	Предѣлъ навыгодн. отсѣчки.
P = 2 .	—	—	—	—	—	0,36	0,33	0,29	0,27	0,189
P = 3 .	0,45	0,44	0,42	0,41	0,367	0,33	0,29	0,26	0,24	0,183
P = 4 .	0,36	0,34	0,32	0,31	0,275	0,30	0,27	0,24	0,21	0,182
P = 6 .	0,33	0,29	0,27	0,25	0,183	0,27	0,25	0,21	0,18	0,180
P = 8 .	0,30	0,26	0,24	0,21	0,187	0,25	0,22	0,19	0,16	0,128

Число оборотовъ главнаго вала опредѣлится изъ формулы:  $n = \frac{30 c}{l}$ ,  
гдѣ длина хода  $l$  берется отъ 1,5 до 2,5 D. Если  $n$  и  $c$  даны, то  $l = \frac{30 c}{n}$ .

Диаметръ  $d$  паропроводной трубы опредѣляется по условію, что площадь сѣченія ея  $= \frac{1}{20}$  площади поршня, т. е.:

$$\frac{d^2}{1,273} = 0,05 \frac{D^2}{1,273}, \text{ откуда } d = D \sqrt{0,05}.$$

Наконецъ, площадь каждаго изъ паровыхъ оконескъ дѣлается равною также 0,05 площади поршня, причемъ длина окна отъ 4 до 5 разъ больше ширины.

**274. Маховики и регуляторы.** Главнѣйшій валъ паровой машины, на которомъ заклиненъ кривошипъ, вращается неравномерно. Причины неравномерности суть 1) *измѣняемость давленія пари на поршень* (въ машинахъ съ расширеніемъ), эта причина дѣйствуетъ *периодически*, повторяясь правильно при каждомъ полуоборотѣ кривошипа, 2) *измѣняемость момента силы*, вращающей кривошипъ; эта причина имѣетъ также *периодическій* характеръ: при мертвомъ положеніи кривошипа моментъ этотъ равенъ нулю, затѣмъ, по выходѣ кривошипа изъ мертваго положенія, онъ увеличивается, достигая наибольшей величины близъ средняго его положенія, далѣе уменьшается (снова до нуля — при второмъ мертвомъ положеніи мотыля и т. д.). 3) *измѣняемость работы сопротивленія*. Эти измѣненія могутъ быть *периодическія* и *непрерывныя* (напр., вслѣдствіе отсѣпки нѣсколькихъ станковъ).

Если причины неравномерности дѣйствуютъ *периодически*, то и скорость машины будетъ измѣняться *периодически* въ болѣе или менѣе широкихъ предѣлахъ. Въ подобныхъ случаяхъ для уравни-



ванія хода машины употребляется *маховикъ*, представляющій чугунное колесо большаго вѣса, заклиненное на главномъ валу машины. *Маховое колесо уравниваетъ движение своею живою силою*. Когда движущая работа сдѣлается больше работы сопротивленій, то избытокъ работы двигателя произведетъ увеличеніе живой силы, а, слѣд., и увеличеніе скорости частей машины, но если къ машинѣ присоединить маховикъ, то увеличеніе живой силы распределиться между органами машины и маховикомъ, а потому увеличеніе скорости частей машины необходимо будетъ меньше, нежели въ томъ случаѣ, когда маховика не существуетъ. Наоборотъ, когда является избытокъ работы сопротивленій, живая сила, а, слѣд., и скорость частей машины уменьшаются, но это уменьшеніе, распределяясь и на массу маховика, будетъ меньше, нежели когда маховика не существуетъ отсюда видно, что *дѣйствіе маховика состоитъ въ уменьшеніи разницы между наибольшею и наименьшею скоростью вала, ограничивая эти крайнія скорости тѣсными предѣлами.*

Въ машинахъ, въ которыхъ сопротивленіе увеличивается отъ времени до времени до громадной величины, какъ, напр., въ прокатныхъ станкахъ, пожирцахъ, комарахъ, маховикъ играетъ весьма важную роль какъ *собиратель* живой силы. Передъ началомъ прокатки машину пускаютъ въ ходъ порожаемъ, причемъ маховикъ, скорость котораго все увеличивается, накопляетъ весьма значительный запасъ работы, въ видѣ живой силы. Во время прокатки этотъ запасъ расходуется на преодоленіе огромнаго сопротивленія, представляемаго прокатываемымъ листомъ жѣлѣза.

Если работа сопротивленій увеличивается или уменьшается *на продолжительное время*, то скорость вала и маховика будетъ непрерывно увеличиваться или уменьшаться: *движеніе машины будетъ неравномерное*: въ подобныхъ случаяхъ маховикъ не въ состояніи сохранить валу его нормальную скорость; для этой цѣли прибегаютъ, въ помощь маховикамъ, къ устройству *регуляторовъ*, которые *дѣйствуютъ на двигатель*, измѣняя его работу соответственно измѣненію работы сопротивленій, т. е. увеличиваютъ работу двигателя при возрастаніи работы сопротивленій и наоборотъ. Напр., въ паровыхъ машинахъ регуляторъ, открывая болѣе или меньше поворотный клапанъ, установленный въ паропроводной трубѣ регулируетъ количество пара, притекающаго въ паровой цилиндръ (§ 276). Въ гидравлическихъ моторахъ регуляторъ, поднимая или опуская штырь, измѣняетъ притокъ воды къ мотору, въ зависимости отъ скорости его движения.

**275. Вѣсъ маховика.** Маховое колесо, подобно шкивамъ, состоитъ изъ обода, спицъ и втулки. При расчетѣ вѣса маховика обыкновенно пренебрегаютъ вѣсомъ спицъ и втулки, а массу обода предполагаютъ равномерно распределенною на средней окружности обода. Назовемъ буквою  $R$  радиусъ этой окружности и пусть  $\omega$ ,

и  $\omega_1$  будут наибольшая и наименьшая величина угловой скорости маховика въ течение періода, а  $\omega$  нормальная угловая скорость его, т. е. та, которая соответствуетъ неизмѣняющемуся движению машины: тогда  $\omega_2 - \omega_1$  представитъ наибольшее измѣненіе угловой скорости маховика (Отношеніе этого измѣненія къ нормальной скорости:

$$\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega} = \delta \quad (a)$$

наз. *степенью неравномерности* движенія.

Пусть  $T$  будетъ избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленій, произшедшій во время перехода отъ скорости  $\omega_1$  къ  $\omega_2$ , и  $R$ —вѣсъ обода маховика. Тогда получимъ, по закону живыхъ силъ:

$$T = \frac{P}{2g} R^2 \{\omega_2^2 - \omega_1^2\} = \frac{P}{2g} R^2 \{\omega_2 + \omega_1\} \{\omega_2 - \omega_1\}.$$

Если разность  $\omega_2 - \omega_1$  велика, то получимъ  $\frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$ , т. е. среднюю арифметическую крайнихъ угловыхъ скоростей, можно принять равную нормальной угловой скорости  $\omega$ , величинѣ постоянной, которую будемъ предполагать неизмѣнною. Поэтому получимъ, принявъ во вниманіе равенство (a),

$$T = \frac{P}{g} R^2 \omega^2 \delta,$$

откуда

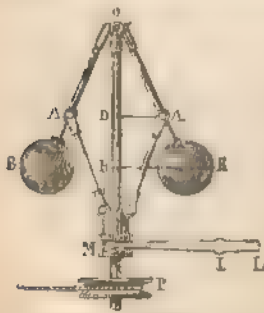
$$P = \frac{Tg}{\delta R^2 \omega^2} \quad (82)$$

Эта формула показываетъ, что вѣсъ маховика долженъ быть тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе избытокъ работы  $T$  и чѣмъ меньше степень неравномерности  $\delta$ ; но при тѣхъ же  $T$  и  $\delta$  онъ тѣмъ меньше, чѣмъ болѣе угловая скорость его  $\omega$  и средній радіусъ  $R$ , слѣд., увеличивая радіусъ  $R$  и угловую скорость  $\omega$  маховика, мы можемъ достигнуть данной степени неравномерности  $\delta$  при помощи маховика меншаго вѣса, вследствие чего машина выйдетъ менѣе громоздкою и треніе въ цапфахъ будетъ менѣе. Но должно замѣтить, что это увеличеніе радіуса имѣетъ свой предѣлъ, ибо вмѣстѣ съ  $R$  и  $\omega$  увеличивается центробѣжная сила, которая можетъ повести даже къ разрыву маховика. Но Морену скорость на средней окружности маховика можетъ безопасно достигнуть 25—30 метровъ въ сек., во всякогда не должна превышать этого наибольшаго предѣла. Что касается степени неравномерности  $\delta$ , то величина ея определяется главнымъ образомъ условиями даннаго производства.

Наименьшая степень неравномерности допускается въ машинахъ для *бумагопрядильн., ткацк., пичебумажныхъ* и др., фабрикъ гдѣ требуется большая правильность движенія, величину  $\delta$  принимаютъ отъ  $\frac{1}{50}$  до  $\frac{1}{60}$  и также до  $\frac{1}{100}$  (для бумагопрядильн. очень тонкихъ номеровъ), въ машинахъ служащихъ для обработки *металловъ*, допускаютъ  $\delta$  около  $\frac{1}{30}$ ; для *вопотогонныхъ, лесопильныхъ* и т. п. машинъ  $\delta =$  отъ  $\frac{1}{20}$  до  $\frac{1}{25}$ .

го касается устройства маховика, то при диаметрахъ не  $> 3$  м. все части его отливаются заодно, при диаметрахъ отъ 3 до 6 м. маховое колесо изготовляется изъ двухъ частей, а болѣе 6 м. — изъ несколькихъ, которыя прочно скрѣпляются накладками (на концы обода), хомутами (на части втулки), болтами и клиньями, подобно тому какъ скрѣпляются части большихъ зубчатыхъ колесъ и шпильковъ. Наконецъ замѣтимъ, что такъ какъ случается нерѣдко, что кривошипъ при забастовкѣ останавливается въ мертвой точкѣ вследствие чего приходится при началѣ пуска машины въ ходъ поворачивать руками маховикъ, съ цѣлью свести кривошипъ съ мертвой точки, то на окружности обода маховика нерѣдко дѣлается гребень, въ который вставляють рычагъ, облегчающій поворачиваніе маховика.

**276 Центробѣжный регуляторъ Уатта <sup>1)</sup>.** Регуляторъ этотъ состоитъ изъ вертикальной оси  $OD$  (фиг. 240), получающей вращательное движеніе отъ главнаго вала машины при помощи пары зубчатыхъ колесъ или гибкаго привода. Къ оси  $OD$  прирѣдлены въ  $O$  два равныхъ стержня  $OA, OA'$ , къ концамъ которыхъ подвѣшены два шара  $B, B'$  равнаго вѣса (стержни  $OA, OA'$  сочленены съ двумя другими стержнями  $AC, A'C'$ , которые въ свою очередь сочленены съ муфтой  $M$ , могущей свободно перемѣщаться вдоль оси  $OD$ ). Вместе съ послѣдней вращаются и стержни  $OA, OA'$  съ привѣшенными къ нимъ шарами. При уменьшеніи работы сопротивленія будетъ



Фиг. 240

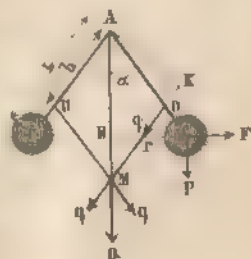
увеличиваться угловая скорость главнаго вала машины, а, слѣд., и оси  $OD$ , причемъ увеличивается центробѣжная сила шаровъ и заставляетъ путь удалиться отъ оси вращенія и подниматся вверхъ, съ увеличеніемъ же работы сопротивленій будетъ умень-

<sup>1)</sup> По указанію Рюльмана центробѣжный регуляторъ съ давнихъ поръ употреблялся въ англійскихъ водяныхъ мельницахъ. Къ паровымъ машинамъ онъ былъ примененъ Уаттомъ въ 1781 г.

паться угловая скорость оси  $OD$ , а слѣд. и центробѣжная сила шаровъ, вследствие чего они опускаются, приближаясь къ оси  $OD$ . Поднятіе или опусканіе шаровъ сопровождается поднятіемъ или опусканіемъ муфты  $M$ , движеніе которой сообщается виллообразному рычагу  $MJL$ , вращающемуся около неподвижной оси  $J$ . Другой конецъ рычага соединенъ при помощи системы рычаговъ съ поворотнымъ клапаномъ, установленнымъ въ паропроводной трубѣ. Соединеніе это устроено такимъ образомъ, что при увеличеніи угловой скорости оси  $OD$ , слѣд. при *поднятіи шаровъ*, поворотный клапанъ отчасти *закрывается*, причемъ давленіе пара вследствие суженія отверстия понижается и уменьшается количество (*по объему*) притекающаго къ поршню пара. При уменьшеніи угловой скорости главнаго вала (при опусканіи шаровъ) клапанъ *открывается* и выѣстъ съ тѣмъ увеличивается упругость и количество (*по объему*) поступающаго въ цилиндръ пара. Легко видѣть, что разсмотрѣнное дѣйствіе регулятора основано на управленіи *объемомъ* поступающаго въ цилиндръ пара, между тѣмъ какъ *объемъ* его остается тотъ же самый, такъ какъ регуляторъ не измѣняетъ отсѣвки.

### 277. Степень нечувствительности регулятора. Вѣсъ шаровъ.

Пусть  $P$  (фиг. 241) будетъ вѣсъ шаровъ регулятора,  $Q$  — вѣсъ его муфты и  $\alpha$  — уголъ, образуемый стержнемъ  $AC$  съ валомъ  $AM$ , при *нормальной угловой скорости* регулятора, соответствующей равному ходу машины съ ея нормальной скоростью  $\omega$ . Вѣсъ  $Q$  муфты можетъ быть разложить на двѣ равныя составляющія  $q$ , направленныя по  $MD$  и  $MD'$ , силы  $q$  можно перенести въ  $D$  и  $D'$ . Такимъ образомъ, на стержень  $AC$  будутъ дѣйствовать три слѣдующія силы. 1) сила  $q$ , приложенная въ  $D$  и направленная по  $MD$ , 2) вѣсъ  $P$  шара (и 3) центробѣжная сила  $F$  шара, равная  $\frac{P}{g} \omega^2 r$ ,



Фиг. 241.

гдѣ  $r$  есть разстояніе центра шара отъ оси  $AM$  (вѣса самого стержня  $AC$  и тренія въ сочлененіяхъ въ расчетъ не принимаемъ). Для *равновѣсія стержня  $AC$*  сумма моментовъ вѣсовъ силъ относительно точки привѣса  $A$  должна быть равна нулю, т. е.

$$Pr + q.Ak - F.AB = 0;$$

обозначимъ  $AC$  буквою  $L$ ,  $AD = MD$  буквою  $b$  и замѣнивъ  $q$  равною ему величиною  $\frac{Q}{2\cos\alpha}$  получимъ

$$\frac{P}{g} \omega^2 . L \sin \alpha . L \cos \alpha = P L \sin \alpha + \frac{Q b^2 \sin 2 \alpha}{2 \cos \alpha} .$$

откуда:

$$\omega^2 = \frac{g}{L \cos \alpha} \left\{ 1 + \frac{Qb}{PL} \right\} \quad (a)$$

Это уравнение дает угол  $\alpha$ , при котором шары будут в равновесии, т. е. будут вращаться равномерно съ угловою скоростью  $\omega$ , соответствующею равномерному ходу машины съ нормальной скоростью.

Когда угловая скорость регулятора стѣляется больше или меньше опредѣленной изъ уравн. (a), то центробѣжная сила шаровъ измѣняется въ томъ же смыслѣ, но шары регулятора при этомъ не вдругъ начнутъ подниматься или опускаться: они могутъ подниматься или опускаться, лишь преодолѣвъ сопротивление рычага и клапана перемѣщенію. Это сопротивление дѣйствуетъ на муфту и его можно разсматривать какъ прибавку въ вѣсъ муфты; назовемъ ее буквою  $p$ . Понятно теперь, что муфта начнетъ подниматься только тогда, когда центробѣжная сила шаровъ увеличится на столько, что въ состояніи будетъ преодолѣть свой вѣсъ и сумму давленій  $Q + p$ . Назовемъ угловую скорость ихъ при этомъ буквою  $\omega_2$ , очевидно, что  $\omega_2$  больше  $\omega$ . До момента, пока угловая скорость не стѣляется равною  $\omega_1$ , шары не перемѣщаются и, слѣд., уголъ  $\alpha$  остается еще тотъ же, т. е. равновѣсіе системы не нарушилось. Поэтому скорость  $\omega_2$  можно опредѣлить по формулѣ (a), внося вмѣсто  $Q$  количество  $Q + p$ , тогда получимъ:

$$\omega_2^2 = \frac{g}{L \cos \alpha} \left\{ 1 + \frac{(Q + p)b}{PL} \right\} \dots \dots (b)$$

Разность  $\omega_2 - \omega$  показываетъ на сколько должна измѣниться угловая скорость для того, чтобы началось движеніе муфты.

Подобнымъ же образомъ, если обозначимъ буквою  $\omega_1$  ту скорость, меньшую  $\omega$ , при которой муфта можетъ начать опускаться изъ равновѣснаго положенія внизъ, то такъ какъ сопротивление  $p$  дѣйствуетъ по направленію, обратному дѣйствію вѣса муфты, можемъ написать для опредѣленія  $\omega_1$  уравненіе

$$\omega_1^2 = \frac{g}{L \cos \alpha} \left\{ 1 + \frac{(Q - p)b}{PL} \right\} \dots \dots (c)$$

Пока угловая скорость мѣняется, не выходя изъ предѣловъ  $\omega_2$  и  $\omega_1$ , до тѣхъ поръ шары не поднимаются и не опускаются, т. е. регуляторъ не регулируетъ хода машины. Чѣмъ меньше будетъ разность  $\omega_2 - \omega_1$  въ сравненіи съ нормальной скоростью  $\omega$ , тѣмъ регуляторъ будетъ чувствительнѣе и движеніе машины ближе къ равномерному. Понятно, что регуляторъ долженъ быть настолько чувствителенъ, чтобы могъ ограничить измѣненія скорости машины извѣстными предѣлами, удовлетворяющими требованіямъ даннаго

производства. Пусть требуется, чтобы разность  $\omega_2 - \omega_1$  составляла не более  $n$ -ой доли нормальной угловой скорости регулятора  $\omega$ , т. е.  $\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega} = \frac{1}{n} = \delta'$ . Дробь  $\delta'$  наз. *степенью нечувствительности* регулятора. Легко видеть, что эта степень будет тем меньше (регулятор тем чувствительнее), чем больше  $\omega$ , а, следовательно, чем больше число оборотов регулятора. При выборе дроби  $\delta'$  должно иметь в виду, чтобы она не была меньше степени неравномерности  $\delta$  маховика, т. е. чтобы чувствительность регулятора не лежала бы внутри пределов регулирования маховиком. Состояние равновесия шаров должно нарушаться только тогда, когда изменение скорости превышает пределы, при которых маховик еще может регулировать. В противном случае (при  $\delta' < \delta$ ) муфта будет находиться в постоянном колебании, способствующем скорому изнашиванию механизма.

Если разность  $\omega_2 - \omega_1$  велика, то можно принять, подобно тому как в маховиках,  $\frac{\omega_2 + \omega_1}{2} = \omega$ . Вычитая теперь ур. (с)

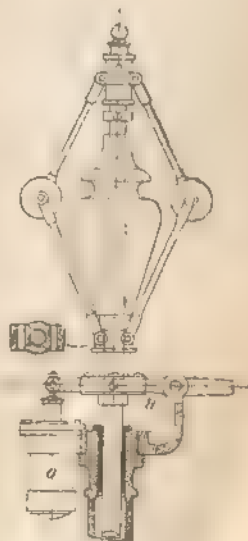
из (b), получим:  $\omega_2^2 - \omega_1^2 = g \frac{2pb}{PL^2 \cos \alpha}$ . Разделяя же это последнее равенство на (a) найдем:

$$\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\omega^2} = 2\delta' = \frac{2pb}{PL + Qb}, \text{ откуда:}$$

$$P = \left( \frac{p}{\delta} - Q \right) \frac{b}{L} \dots (83)$$

Из этого ур. видно, что если  $P$  шаров должен быть тем больше, чем больше то значение  $p$ , которое муфта должна производить на привод, чтобы повернуть клапан, чем меньше степень нечувствительности  $\delta'$ , чем больше отношение  $\frac{b}{L}$  и чем меньше вес муфты.

**278. Регулятор Портера** Из предыдущего § видно, что увеличением веса муфты можно достигнуть уменьшения веса шаров, не уменьшая чувствительности регулятора. Уменьшение же веса шаров желательно в том отношении, что вместе с ним уменьшаются размеры единиц, вследствие чего регулятор получить более компактное устройство, нежели регулятор Уатта. Регулятор с тяжелой муфтой (А. фиг. 242) и с маленькими шарами были устроены впервые американцем *Портером*. Как видно из фор-



Фиг. 242.



мулы (а, § 277), чѣмъ меньше вѣсъ шаровъ регулятора, тѣмъ больше должна быть его угловая скорость, поэтому регуляторы Портера садятся на быстро вращающіяся оси; они дѣлаютъ отъ 100 до 300 оборотовъ въ мин. между тѣмъ какъ регуляторы Уатта дѣлаютъ лишь отъ 30 до 75 оборотовъ въ минуту.

**279 Катарактъ.** При нарушении равновѣсія шаровъ и муфты, эта послѣдняя не сразу останавливается въ новомъ равновѣсномъ положеніи, но, вѣдѣствие того что, подъ влияніемъ инерціи, шары нѣсколько переходятъ его, муфта колеблется въ некоторое время около равновѣснаго положенія. Замѣчено, что въ регуляторахъ съ легкой муфтою эти колебанія больше, нежели въ американскихъ регуляторахъ. Съ цѣлью сдѣлать движеніе регулятора болѣе спокойнымъ, нерѣдко при нихъ устранивается такъ наз. *катарактъ*, въ видѣ небольшого цилиндрика О, наполненнаго масломъ или воздухомъ и снабженнаго поршнемъ, который не плотно ходитъ въ цилиндрѣ, такъ что при его движеніи масло будетъ переливаться изъ одной части цилиндрика въ другую, проходя между стѣнами цилиндрика и поршнями и нѣрѣкая при этомъ большее или меньшее сопротивленіе.

**280. Статическіе и астатическіе регуляторы.** Всѣ регуляторы могутъ быть раздѣлены на двѣ группы на *статическіе* и *астатическіе*. Къ первымъ относятся тѣ, которые послѣ нѣбольшаго уклоненія скорости отъ нормальной величины, не *возвращаютъ ее къ той послѣдней*, но только прешествуютъ къ болѣе или менѣе уклоненію, при чемъ регуляторъ не допускаетъ скорости переходить извѣстные предѣлы, опредѣляемые степенью его чувствительности. Другими словами, дѣйствіе такихъ регуляторовъ заключается въ переводѣ машины изъ одного равномернаго движенія въ другое. Такие регуляторы наз. *статическими*. Ко второй группѣ относятся тѣ регуляторы, которые послѣ всякаго уклоненія скорости отъ нормальной, *возвращаютъ машину къ этой послѣдней скорости*.

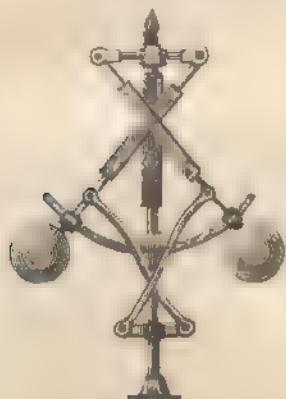
Регуляторы Уатта и Портера суть *статическіе регуляторы*. Дѣйствительно, какъ видно изъ формулы для угловой скорости (§ 277), эта послѣдняя зависитъ отъ угла  $\alpha$  т е отъ положенія муфты на оси, а, слѣд. и отъ положенія клапана въ пароводопроводѣ. Но когда регулирование совершится, клапанъ будетъ имѣть другое положеніе, чѣмъ то, какое было до начала измѣненія скорости, а потому и положеніе муфты, а вмѣстѣ съ нею уголъ  $\alpha$  и скорость вращенія будутъ другіе.

Изъ предыдущаго ясно, что для того, чтобы регуляторъ былъ *астатическимъ*, необходимо, чтобы угловая скорость не зависѣла отъ угла  $\alpha$ , а, слѣд. и отъ положенія муфты и клапана. Нѣльзя показать, что для этого необходимо, чтобы шары регулятора двигались при поднятіи не по окружности, по одной общей

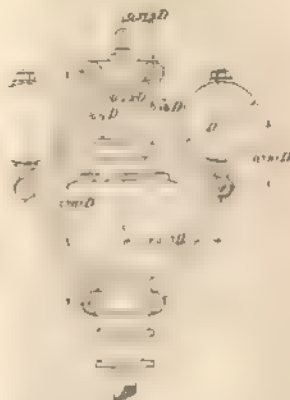
*параболы*, вершина которой лежит на оси (О). Такие регуляторы получили название *параболических*, или регуляторов *Фарко* (по имени изобретателя 1818 г.). Однако они не вошли въ болѣе широкое употребленіе по причинѣ затруднительности изготовления.

**281. Псевдоаостатическіе регуляторы Фарко и Прелля.** Въ настоящее время наиболѣе распространеніе получили такъ называемые *псевдоаостатическіе* регуляторы, въ которыхъ дуга параболы замѣнена дугою круга, болѣе подходящаго къ параболѣ.

На фиг. 243 представленъ псевдопараболическій регулятор *Фарко* съ перекрещивающимися ручками. Голки прикоса шаровъ, служащія въ тоже время центрами ихъ дугъ, расположены по разныя стороны оси регулятора.



Фиг. 243.



Фиг. 244.

Болѣе компактное устройство представляетъ регуляторъ *Прелля* (фиг. 244) съ тяжелой муфтою и шарами, укрепленными на концахъ загнутыхъ вверхъ спицъ.

### ЗАДАЧИ.

93. Какъ велико давленіе пара на поршень, діаметръ котлаго  $= 0,785$  м., если упругость пара  $= 3$  атм.?

94. Въ машинѣ низкаго давленія безъ расширенія, по съ холодильникомъ, упругость пара въ котлѣ  $= 1\frac{1}{2}$  атм., а въ холодильн.  $\frac{1}{2}$  атм., діаметръ поршня  $D=2$ , длина хода  $l=5$  и число оборотовъ въ минуту  $n=20$ . Какъ велика полезная работа машины?

95. Какъ велика полезная работа машины низкаго давленія съ холодильникомъ, по безъ расширенія, діаметръ поршня котлаго  $D=34$ , длина хода  $l=6$ , давленіе пара въ котлѣ 21,4 фунта, а въ холодильникѣ 4 фунта на кв. дюймъ, котелъ производитъ въ минуту 56,12 фунт пара.

96. Сколько оборотовъ дѣлаетъ эта машина въ минуту?

97. Какую полезную работу доставить машина зад. 94, работая съ расширением ( $\varepsilon = 2$ ).

98. Какъ велика полезная работа, доставляемая машиною съ расширениемъ, но безъ холодильника, если котлъ производитъ въ минуту 15 кгг пара упругостью въ 5 атмосферъ и если отбѣлка производится на  $\frac{1}{2}$  хода поршня?

99. Сколько оборотовъ дѣлаетъ эта машина если діаметръ поршня  $D = 0,8$  м. и длина хода  $l = 1,2$  м.?

100. Определить среднее давленіе пара на поршень въ предыдущей машинѣ.

101. Какъ велика полезная работа и число оборотовъ предыдущей машины, если она дѣлаетъ безъ расширения?

102. Определить полезную работу машины съ коромысломъ, переменнымъ расширениемъ  $\varepsilon$  отъ 2 до 5 и охлажденіемъ пара, для крайнихъ предѣловъ расширения. Дано: діаметръ поршня  $D = 0,4$  м., ходъ  $l = 0,9$  м., число оборотовъ въ минуту  $n = 35$ , упругость пара въ котлѣ  $p = 4,5$  атм.; давленіе въ холодильнике  $p' = 0,1$  атм.

103. Какіе размеры должна имѣть паровая машина средняго давленія (3,5 атм.) въ 25 паровыхъ лошадей (полезной работы) съ расширениемъ ( $\varepsilon = 3$ ) и охлажденіемъ пара? Число обор. въ мин.  $n = 30$ .

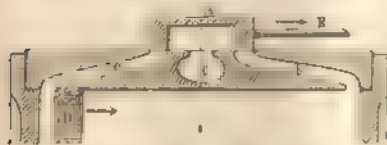
## ГЛАВА XII.

### Распределение и охлаждение пара.

Распределение пара въ машинѣ съ расширеніемъ. Распределение пара въ машинѣ съ паровой отбѣлкой. Патенты Цейляра. Различныя формы зорчатыхъ золотниковъ. Недостатки роторныхъ золотниковъ. Угловые и плоскіе золотники. Плоскіе золотники. Периферическіе отбѣчки. Золотники Фарка, Мейера и Ридера. Распределительные механизмы Карлса, Вулфера и Кельмана. Распределение пара въ машинахъ Вулфера и въ комбиндирсеневыхъ машинахъ. Различныя типы вала Гуча и Адама. Холодильники съ внутреннимъ охлажденіемъ, поверхностные и водоструйные.

### 282 Распределение пара въ машинѣ безъ расширенія. Въ

машинѣ безъ расширенія распределение пара производится простымъ коробчатымъ золотникомъ А (фиг. 245), получающимъ движеніе отъ эксцентрика, насаженнаго на главный валъ машины, при помощи тяги, соединенной со штокомъ В золотника.

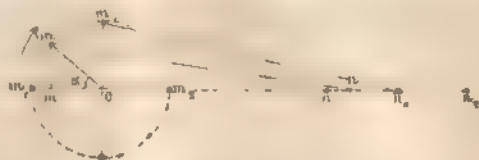


Фиг. 245

Пусть  $m, m_1$  (фиг. 246) будутъ описываемая геометрическимъ центромъ эксцентрика и штокъ эксцентрика. Положимъ что эксцентрицитетъ занимаетъ начальное положеніе  $Om_1$ , а конецъ тяги положеніе  $n_1$ . При поворотѣ эксцентрицитета на уголъ  $\alpha$  въ положеніе  $Om$ , конецъ тяги перейдетъ изъ  $n_1$  въ  $n$ .

слѣд., золотникъ перемѣстится на величину  $p, p$ . Обыкновенно длина тяги  $mn$  въ несколько разъ больше эксцентриситета  $Om$ , поэтому, рассматривая эксцентрикъ какъ кривошипъ, радиусъ котораго равенъ эксцентриситету ( $Om=1$ ), можно принимать безъ чувствительной погрѣбности перемѣщенія золотника равными перемѣщеніямъ горизонтальной проекціи центра эксцентрика (§ 74); слѣд., можно принять  $p, p=m, m'$ .

Ясно, что *полный ходъ золотника* въ теченіе по-



Фиг. 246.

лудоборота вала будетъ —  $2g$ . При поворотѣ эксцентриситета на  $90^\circ$ , т. е. въ положеніе  $Om_0$ , перпендикулярное къ  $m_1m_2$ , перемѣщеніе горизонтальной проекціи центра эксцентрика будетъ равно  $m_1O$  — т. е. въ это время конецъ тяги эксцентрика займетъ положеніе  $p_0$ , отстоящее отъ  $p_1$  на длину  $g$ , т. е. на половину хода золотника. *Итакъ, когда эксцентриситетъ перпендикуляренъ къ линии  $m_1m_2$  мертвыхъ точекъ, золотникъ находится въ своемъ среднемъ положеніи.*

Предположимъ, что разстояніе между наружными краями золотника равно разстоянію между наружными краями паровыхъ оконшекъ, а ширина закраины его равна ширинѣ оконшекъ, и пусть эксцентриситетъ  $g$  равенъ ширинѣ окна, а эксцентрикъ заливенъ на валу такимъ образомъ, что его эксцентриситетъ составляетъ кривошипномъ  $m$  въ  $90^\circ$ . При такомъ устройствѣ, ясно, что когда лутровка кривошипа, а слѣд и поршень, будутъ находиться къ мертвой точкѣ, золотникъ будетъ занимать *среднее свое положеніе*. Положимъ, что при этомъ оба выпускные канала открыты (фиг. 245) слѣд., *ниги ни спуска, ни выталкива пара*.

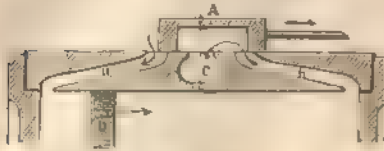
Съ выходящимъ кривошипомъ  $OM$  по стрѣлкѣ (фиг. 247), золотникъ начнетъ двигаться вправо отъ средняго положенія, причемъ лѣвый каналъ а мало по малу открывається въ распределительную коробку, тогда какъ каналъ б сообщается съ выпускнымъ каналомъ с, и паръ входитъ въ лѣвую часть цилиндра и поршень выталкивается вправо. Выталкиваемый паръ изъ правой части цилиндра въ отводный каналъ с (фиг. 248).



Фиг. 247.

При поворотѣ кривошипа на уголъ  $\alpha$  оба оконшка будутъ открыты на величину  $Om' = g \sin \alpha$ . При  $\alpha=90^\circ$  эксцентриситетъ  $Om$  придетъ въ правое мертвое положеніе  $Om_2$ , а поршень совершитъ около половины своего размаха (§ 74). Въ это время золотникъ займетъ крайнее правое положеніе, при которомъ оба окна испол-

открыты: *впуск и выпуск пара продолжаются.* Когда поршень из среднего своего положенія начнет двигаться къ своей правой мертвой точкѣ, золотникъ начи-



Фиг. 248.

наетъ уже двигаться назадъ и постепенно задвигаетъ оба окошка, и когда поршень будетъ находиться въ своей правой мертвой точкѣ, золотникъ займетъ свое среднее положеніе: въ этотъ моментъ окошки закрыты и нѣтъ ни

впуска, ни выпуска пара. При дальнѣйшемъ вращеніи вала, золотникъ передвигается влѣво отъ своего средняго положенія, начинается *впускъ въ правую часть цилиндра и выпускъ изъ лѣвой*: поршень пойдетъ справа налево и т. д.

Изъ всего сказаннаго ясно, что паръ впускается и выпускается на всей длинѣ хода поршня, т. е. действуетъ *безъ расширения*.

**283. Распределеніе пара въ машинѣ съ постоянною отсѣчкою.** Въ настоящее время почти всѣ машины дѣлаются съ отсѣчкою пара, представляющею ту выгоду, что паръ, прежде выхода изъ цилиндра, развиваетъ работу расширеніемъ. Въ машинахъ же безъ отсѣчки вся работа, которая могла бы произойти отъ расширенія, теряется. Отсюда видно, что при одинаковомъ расходе пара машина съ расширеніемъ доставитъ больше работы, нежели машина безъ расширенія.

Распределеніе пара въ машинѣ съ *постоянною отсѣчкою*, т. е. такою, которая происходитъ всегда на одной и той же части хода поршня, достигается разсмотрѣннымъ выше коробчатымъ золотникомъ, къ которому дѣлаются слѣдующія измѣненія: 1) *ширины* закраины золотника дѣлается нѣсколько больше ширины паровыхъ окошекъ, данн



Фиг. 249.

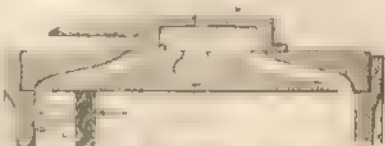
его выступаютъ за края окошекъ наружу на величину  $ab = a'b'$  (фиг. 249) и внутрь на величину  $cd = c'd'$ . Длина  $ab$  наз. *наружною* или такъ что когда золотникъ находится въ среднемъ положеніи, то *внѣшнюю перекрышию*, а  $cd$  *внут-*

*реннюю перекрышию* золотника; 2) *эксцентриситетъ* эксцентрика дѣлаютъ болѣе ширины окна, именно равнымъ ширинѣ окна + *наружная перекрыша*. 3) *эксцентрикъ* ставятъ на валу такимъ образомъ, чтобы его эксцентриситетъ составлялъ съ кривошипомъ  $OA$  не прямой, а тупой уголъ, т. е. не въ положеніи  $Omp$  (фиг. 246), а въ положеніи  $Omp$  (фиг. 250). Уголъ  $\beta$  наз. *угломъ опереженія* эксцентрика. При такомъ устройствѣ золотника и расположеніи кривошипа и эксцентрика распределеніе пара происходитъ слѣдующимъ образомъ:

1) въ то время, когда поршень находится въ правой или лѣвой мертвой точкѣ, каналы для выпуска пара въ правую или лѣвую часть цилиндра уже нѣсколько открыты, вследствие существованія угла  $\beta$  опереженія эксцентрика, заставляющаго золотникъ забѣгать въ своемъ движеніи впередъ. При предыдущемъ распредѣленіи нельзя заставить поршень начать двигаться отъ своей мертвой точки при полномъ давленіи пара такъ какъ паръ начинаетъ входить въ цилиндръ въ тотъ же моментъ, когда поршень выходитъ изъ своей мертвой точки, и притомъ паръ начинаетъ входить весьма узкимъ отверстіемъ, вследствие чего поршень долженъ пройти нѣкоторый путь прежде чѣмъ установится полное давленіе пара. При существованіи опереженія выпуска поршень начинаетъ двигаться отъ своей мертвой точки при полномъ давленіи пара, которое успѣетъ къ началу обратнаго хода поршня установиться во вредномъ пространствѣ. Притокъ контр-паровъ представляетъ еще ту выгоду, что впускаемый заранее паръ постепенно замедляетъ ходъ поршня и тѣмъ задерживаетъ его пройти черезъ мертвую точку болѣе плавнымъ образомъ. Выходъ паровъ начинается обыкновенно, когда поршень не дошелъ до конца своего хода на 0,01 длины размаха (фиг. 251).

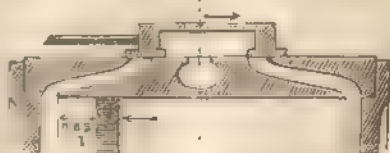


Фиг. 250.



Фиг. 251.

2) каналы для выпуска пара изъ левой или правой части цилиндра также уже нѣсколько открыты (отсрѣженіи выпуска) въ то время, когда поршень находится въ правой или лѣвой мертвой точкѣ. Если бы не было опереженія выпуска (такъ въ предыдущемъ распредѣленіи), то при обратномъ движеніи поршень встрѣчалъ бы значительное сопротивленіе, такъ какъ мятой паръ начинать бы выходить только въ тотъ моментъ, когда поршень выходитъ изъ мертвой точки, поршень долженъ былъ бы пройти изъ мертвой точки нѣкоторый путь, прежде чѣмъ съ нерабочей стороны установится давленіе атмосферы или холодильника, ибо паръ вначалѣ выходитъ весьма узкимъ отверстіемъ. Обыкновенно выпускъ начинается на 0,03 хода поршня (фиг. 252);



Фиг. 252

3) выпускъ мятого пара прекращается раньше прихода поршня въ его мертвую точку вследствие чего происходитъ сжатіе мятого пара, которое продолжается до момента соответствующаго началу





ную и горизонтальную прямая: последнюю примем за направление линии мертвых точек  $A B_0$ . Затем проведем к вертикальной линии прямую  $OD$  под углом опережения  $\beta$ , и отложим на ней величину  $OD$  эксцентриситет  $r$  эксцентрика: на этой линии, какъ на диаметрѣ, опишемъ окружность. *Хорды этой окружности, идущія отъ точки  $O$ , изображаютъ собою по величинѣ расстоянія ( $s$ ) золотника отъ его средняго положенія.* Действительно, положимъ, что кривошипъ  $OA_0$  описалъ уголъ  $\alpha$  при перехоѣ изъ дѣйств. мертвой точки въ положеніе  $OA$  тогда изъ прямоугольнаго треугольника  $OaD$  имѣемъ  $Oa = OD \sin (90^\circ - \alpha - \beta)$  или  $Oa = r \sin (\alpha + \beta) = s$ . Но прежде чѣмъ открыть выпускное отверстие золотникъ долженъ пройти длину, равную величинѣ наружной перекрышки  $ab$ , поэтому, чтобы получить величину выпускнаго отверстия, при разсматриваемомъ положеніи кривошипа, надо изъ найденнаго выше расстоянія  $s$  вычесть величину наружной перекрышки и, точно также, чтобы получить величину отверстия выпускнаго окна, надо изъ  $s$  вычесть величину внутренней перекрышки. Поэтому, означивъ величины наружной и внутренней перекрышки буквами  $e$  и  $i$ , найдемъ величину открытия выпускнаго окна  $\chi = s - e = r \sin (\alpha + \beta) - e$ , и выпускнаго  $\gamma = s - i = r \sin (\alpha + \beta) - i$ . Такъ какъ внутренняя перекрышка  $i$  всегда меньше внешней  $e$ , то  $\chi$  всегда больше  $\gamma$ , т. е. *выпускное отверстие всегда открыто болѣе чѣмъ выпускное*.

Опишемъ изъ точки  $O$ , какъ центра, радиусами  $Od = e$  и  $Ok = i$  двѣ окружности, тогда получимъ изъ чертежа  $ad = Oa - Od = r \sin (\alpha + \beta) - e = \chi$ , т. е.  $ad$  будетъ величина открытия выпускнаго окошка, соответствующая углу  $\alpha$ , описанному кривошипомъ изъ того же чертежа имѣемъ  $ak = Oa - Ok = r \sin (\alpha + \beta) - i = \gamma$ , т. е.  $ak$  представляетъ величину открытия выпускнаго окна. Чтобы имѣть возможность на томъ же чертежѣ находить величина открытия паровыхъ оконъ и при обратномъ ходѣ поршня, нужно только продолжить линию  $OD$  въ другую сторону и, отложивъ  $OD' = OD$ , описать на  $OD'$  какъ на диаметрѣ окружность.

Такимъ образомъ, эта диаграмма даетъ весьма удобное средство определять величины открытия выпускнаго и выпускнаго окошекъ для каждаго положенія кривошипа. Она носитъ названіе *диаграммы Цейнера*. Изъ нея видно, что когда поршень находится въ своей мертвой точкѣ (при положеніи  $OA_0$  кривошипа) выпускное окно уже открыто на величину  $bc$  (величина эта наз. *линейнымъ опереженіемъпуска*); выпускное же окно открыто на величину  $bc$ . Съ движеніемъ кривошипа по направлению стрѣлки обѣ эти величины возрастаютъ до тѣхъ поръ, пока кривошипъ не займетъ положенія  $ON$ , при этомъ золотникъ будетъ находиться въ своей правой мертвой точкѣ. Затемъ оба канала начинаютъ постепенно закрываться. При положеніи  $OA_1$  кривошипа, величина выпускнаго отверстия обращается въ нуль, а величина выпускнаго отверстия  $= pq$ ,

слѣд., этому положенію кривошипа соответствуетъ начало *расширения* въ лѣвой части цилиндра, между тѣмъ какъ выпускъ изъ правой части все еще продолжается. Чтобы найти соответственное положеніе поршня, стоитъ только изъ точки  $A_1$  опустить перпендикуляръ на линію мертвыхъ точекъ, тогда линія  $M_1N_0$  покажетъ (приблизительно) на сколько поршень не дошелъ до правой мертвой точки въ моментъ начала расширения <sup>1)</sup>.

Когда кривошипъ займетъ положеніе  $(A_2)$ , величина выпускнаго отверстия обращается въ нуль съ этого момента начинается *сжатіе* мятаяго пара въ правой части цилиндра, а расширение въ лѣвой продолжается.

$A_3$  есть положеніе пуговки кривошипа въ то мгновеніе, когда начинается *выпускъ* мятаяго пара изъ лѣвой части цилиндра, сжатіе же въ правой продолжается.

Наконецъ, при положеніи  $A_4$  пуговки кривошипа начинается *впускъ* пара въ правую часть цилиндра или притокъ *контрг-паровъ*, выпускъ же изъ лѣвой части продолжается.

Такимъ образомъ, если извѣстны 1) эксцентрицитетъ эксцентрика, 2) уголъ опереженія и 3) обѣ перекрышки, то по діаграммѣ Цейнера можно опредѣлить всѣ обстоятельства парораспределения.

Степень расширения, допускаемая золотникомъ съ перекрышками, вообще не велика она не бываетъ болѣе  $\frac{1}{2}$ . Изъ діаграммы не трудно видѣть, что степень расширения тѣмъ болѣе, чѣмъ *меньше эксцентрицитетъ  $r = (OJ)$ , чѣмъ болѣе уголъ опереженія  $\beta$  и чѣмъ болѣе величина перекрышки  $e$* , по съ замѣленіемъ этихъ величинъ измѣняются необходимо и другіе элементы распределения пара (впускъ, сжатіе).

**285. Различныя формы коробчатыхъ золотниковъ и соединеній ихъ со штокомъ.** Коробчатый золотникъ встрѣчается въ нѣсколькихъ видоизмѣненіяхъ, сообразно тѣмъ особеннымъ условіямъ при которыхъ онъ работаетъ, какъ напр. въ скороходныхъ паровыхъ машинахъ, въ которыхъ главное условіе составляетъ быстрое распределеніе пара, или въ машинахъ съ очень длиннымъ



Фиг. 254.

цилиндромъ, требующихъ особыхъ заботъ объ уменьшеніи длины паровпускныхъ каналовъ и т. п.

На фиг. 254 представленъ золотникъ *Трипа*, снабженный внутреннимъ каналомъ  $A$ , имѣющимъ вдвое удвоенную выпускную отверстие при началѣ хода поршня: паръ поступаетъ въ цилиндръ не только у краевъ золотника, но также и по каналу  $A$ . Подобные золотники употребляются преимущественно въ

<sup>1)</sup> Чтобы получить совершенно вѣрное положеніе поршня, должно перенести точку  $A_1$  на линію мертвыхъ точекъ не перпендикулярно къ ней послѣдней, а дугою круга, имѣющей радиусъ, равный длинѣ шатуна, и центръ на линіи мертвыхъ точекъ.

локомотивахъ. Фиг. 255 представляетъ устройство золотника для длинныхъ цилиндровъ. Во избѣжаніе слишкомъ длинныхъ паровыхъ каналовъ (слѣд., для уменьшенія вреднаго пространства), золотникъ раздѣленъ на двѣ отдѣльныя части А и В, прочное соединенныя между собою. Лѣвый наружный край золотника А и правый наружный край золотника В управляютъ выпускомъ пара въ цилиндръ, напротивъ, лѣвый внутренній край золотника А и правый внутренній В управляютъ выпускомъ пара. Оба паровыхъ канала а соединяются въ одинъ общій каналъ С. Эти золотники имѣютъ особенно важное значеніе въ машинахъ съ холодильниками.



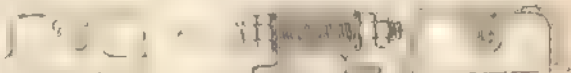
Фиг. 255

Что касается способовъ соединенія золотника съ его штокомъ, то они весьма разнообразны. Для небольшихъ золотниковъ весьма удобно соединеніе, представленное на фиг. 256. Конецъ штока снабженъ круглою головкою а, которая вводится между переднею стѣнкою золотника и изображеннымъ выступомъ bb.

Довольно часто встречающаяся конструкция представлена на фиг.



Фиг. 256.



Фиг. 257.

257. Конецъ штока вставляется въ овальную трубку прилитую къ спинкѣ золотника и укрѣпляется гайками. Овальная форма сѣченія трубки позволяетъ измѣнять приладку по мѣрѣ истиранія золотника.

Наконецъ, весьма часто употребляется соединеніе золотника со штокомъ его при помощи желѣзной рамки а (фиг. 258—планъ), плотно охватывающей золотникъ. Конецъ штока соединяется съ рамкою или при помощи клина (фиг. 261 и 263) или же прямо ввинчивается въ нее (фиг. 258).



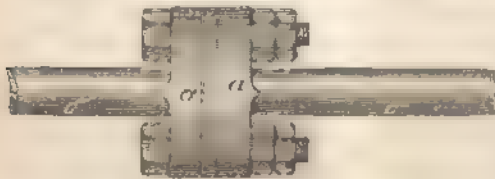
Фиг. 258.

**286. Недостатки коробчатыхъ золотниковъ. Уравновѣшенные золотники.** Существенное достоинство коробчатого золотника, доставившее ему обширное распространение, заключается въ простотѣ его устройства и въ чрезвычайной правильности дѣйствія, въ особенности если золотникъ установленъ правильно и тщательно вытеренъ. Но онъ имѣетъ и важные недостатки: 1) медленное закрытіе оконъ, слѣдствіемъ чего является торможение пара и потеря работы (§ 264), 2) впускъ и выпускъ пара происходятъ черезъ одинъ и тотъ же каналъ, который охлаждается каждый разъ

при выпуске пара: 3) значительная потеря работы, поглощаемой *трением* золотника о поверхность стола.

(Съ целью уменьшить трение золотника, что имѣетъ особенно важное значеніе въ машинахъ съ ручнымъ распределеніемъ пара (напр. въ паровыхъ молотахъ), а также въ машинахъ громадной силы (мореходныхъ), нерѣдко устраиваютъ такъ наз. уравновѣшенные золотники, въ которыхъ спинка золотника плотно скользитъ (при помощи металлической набивки, имѣющей, напр. видъ кольца, вставленного въ кольцевой желобокъ, сдѣланный на спинкѣ золотника, и нажимаемого къ крышкѣ помощью стальныхъ пружинъ, подложенныхъ подъ набивку) по внутренней поверхности крышки золотниковой коробки, такъ что паръ не производитъ почти никакого давленія на спинку золотника. Вотъ распределены поршневые уравновѣшенные золотники, состоящие изъ двухъ соединенныхъ между собою поршеньковъ, снабженныхъ набивкою и движущихся въ гнѣздно расточенной цилиндрической коробкѣ (на подолѣ распределительнаго механизма водостоговыхъ машинъ, фиг. 188). Однако уравновѣшенные золотники не получили всеобщаго примѣненія по причинѣ сложности ихъ устройства.

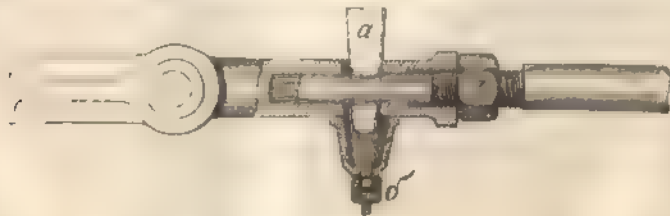
**287. Повѣрка золотника.** Золотникъ работаетъ правильно,



Фиг. 259.

если съ обѣихъ сторонъ впускъ и выпускъ пара совершенно одинаковы. Что бы убѣдиться въ этомъ повѣряютъ сборку золотника слѣдующимъ образомъ. Снимаютъ крышку золотниковой коробки и ставятъ

ее въ мертвую точку. Затѣмъ измѣняютъ величину открытія впускнаго окна (с помощью деревяннаго клинушка, вдвигаемаго въ отверстіе кривошипа въ междѣ краями золотника и окна, при чемъ на клинушкѣ



Фиг. 260.

получается мѣт. а) Послѣ того ставятъ кривошипъ въ *прямую* мертвую точку и опять измѣняютъ величину открытія другаго впускнаго окна. Если окажется, что открытія оконъ не одинаковы, то удлиняютъ или укорачиваютъ золотниковую тягу до тѣхъ поръ, пока не полу-



чается одинаковыя открытія оконъ. Съ этою цѣлью тяга дѣлается обыкновенно составною изъ двухъ частей, соединяемыхъ поср. флянцевъ а. а. (фиг. 259), между которыми кладется болѣе или менѣ толстая прокладка в. или при помощи клина а, затягиваемого гайкою б (фиг. 260). Измѣненіе длины золотниковой тяги объе принимаютъ случаетъ достигается утолщеніемъ или утоненіемъ прокладки в, а во второмъ — подтягиваніемъ клина а (отсутствіи прокладочно гайку г).

*Примѣчаніе* Чтобы поставить кривошипъ въ *мертвую точку* надо прежде всего *открыть одну машину*. Для этого снимаютъ шатунъ цѣль и передвигаютъ крайцкофъ съ штокѣмъ и поршнемъ сначала въ лѣвое, а затѣмъ въ правое крайнѣе положеніе такъ чтобы всякій разъ поршень упирался въ крышку цилиндра, и отмѣчаютъ на параллели чертами, напр. а и б, крайнія положенія крайцкофа. Раздѣливъ длину аб пополамъ и отложивъ отъ середины с въ обѣ стороны длину кривошипа, получаютъ на параллели двѣ новыя черты д и е, между которыми долженъ двигаться крайцкофъ при вращеніи кривошипа. Если онъ съ одной стороны не дойдетъ до черты д, а съ другой перейдетъ черту е то это значитъ что шатунъ слишкомъ длиненъ и его надо укоротить, переставивъ вкладыши его головки. Если такимъ образомъ длина шатуна прибрена, то установка кривошипа въ той или другой мертвой точкѣ достигается простою установкою крайцкофа противъ одной изъ штокѣ д или е.

**288 Переменная отсѣчка.** Переменная отсѣчка имѣетъ важное практическое значеніе въ машинахъ, работающих съ расширеніемъ пара. Весьма часто работа паровыхъ сопротивленій измѣняется въ значительныхъ предѣлахъ. Въ подобныхъ случаяхъ въ машинахъ съ переменнымъ расширеніемъ регулированіе хода производится посредствомъ увеличенія или уменьшенія степени расширения. Переменная отсѣчка, не измѣняя первоначальнаго давленія пара въ цилиндрѣ, измѣняетъ лишь расходъ пара (по объему и вѣсу), сообразно съ измѣненіемъ работы паровыхъ сопротивленій.

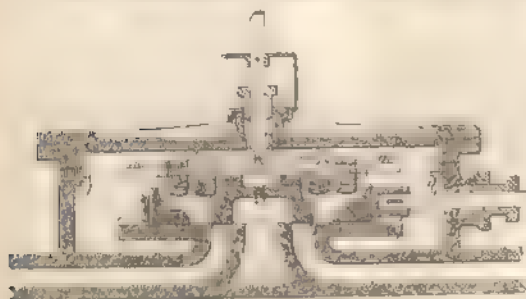
Переменная отсѣчки можетъ быть произведена *отъ руки* или *отъ регулятора*. Въ первомъ случаѣ, при пусканіи машины въ ходъ, устанавливають такое расширеніе, при которомъ получается нормальная скорость машины. Движеніе будетъ происходить съ этою скоростью, если сопротивление, преодолеваемое машиною, не измѣняется. При измѣненіи же его должна быть измѣнена соотвѣственно и отсѣчка. Въ тѣхъ случаяхъ когда работа сопротивленія измѣняется значительно и на продолжительное время (напр., вълѣдствіе отсѣчки станковъ), надлежащую степень отсѣчки устанавливаютъ на это время отъ руки. Но такъ какъ кромѣ этихъ значительныхъ измѣненій происходятъ безпрестанныя и незначительныя измѣненія сопротивления, то для извѣстнаго постояннаго наблюденія за машиною, сопряженнаго съ непрерывною переменною отсѣчкой машинистомъ, устраняютъ отъ регулятора приводъ къ расширительному механизму, заставляя регуляторъ управлять отсѣчкою. При увеличеніи скорости машины регуляторъ увеличиваетъ расширеніе,



при уменьшеніи—уменьшаетъ. Этотъ способъ регулированія силы машины почти совершенно вытѣснить практиковавшійся прежде способъ регулированія поср. *поворотнаго клапана*, не выгодный уже по тому одному, что для возможности предупрежденія какъ *возрастанія*, такъ и *уменьшенія* нормальной скорости, необходимо ставить клапанъ такъ, чтобы при нормальной скорости онъ былъ не вполне открытъ, слѣд., при нормальной скорости переходъ пара въ цилиндръ будетъ происходить невыгоднымъ образомъ, такъ какъ суженіе канала влечетъ за собою всегда пониженіе давленія пара.

Для достиженія переменной отсѣчки устраняють особые такъ наз. *сложные или двойные золотники*, состоящіе изъ двухъ отдѣльных золотниковъ, изъ которыхъ одинъ назначенъ для *распределенія* пара по ту или другую сторону поршня, а другой производить собственно *расширеніе*; этотъ послѣдній золотникъ устроенъ такъ, что его можно переставлять и получать такимъ образомъ различныя отсѣчки. Системъ подобныхъ золотниковъ очень много, но наиболѣе употребительныя изъ нихъ суть двойные золотники *Фарко, Мейера и Ридера*.

**289. Золотникъ Фарко (фиг. 261).** Золотникъ этотъ, изобрѣ-



Фиг. 261.

тенный во Франціи въ 1838 г., состоитъ изъ коромысчатого золотника S, который отличается отъ обыкновен. только тѣмъ, что при немъ паръ вступаетъ въ паровой каналъ, двигаясь не около наружныхъ краевъ его лапъ, а по каналамъ а, б, сдѣланнымъ въ золотникѣ. Каналы а и б въ снискѣ

золотника развѣтвляются натрое, съ цѣлью увеличенія паровыпускныхъ отверстій въ моментъ пачала впуска паровъ. На гладко обстроганной снискѣ золотника S поставлены двѣ пластинки S<sub>0</sub>, снабженныя двумя отверстиями  $\delta, \delta$ . Давленіемъ пара пластинки эти плотно прижаты къ снискѣ нижняго золотника. Каждая пластинка снабжена двумя пальцами m и n, а въ распределительной коробкѣ—въ боковыхъ стѣнкахъ ея—сдѣланы два выступа q, q'. Наконецъ, между пальцами nn, по средней линіи распределительной коробки, черезъ ея крышку пропущена ось, на нижнемъ концѣ которой укрѣплена пластинка K, имѣющая форму кулачка, выступы котораго симметрично расположены относительно оси (фиг. 262) Кулачекъ этотъ, а также и выступы qq, служатъ для задержанія плас-

тинокъ  $S_0S_0$ , увлекаемыхъ нижнимъ золотникомъ, который получаетъ независимо отъ пластинокъ движение отъ эксцентрика, насаженного на главный валъ машины. Дѣйствіе нижняго золотника ничѣмъ не отличается отъ распределенія, производимаго обыкновеннымъ золотникомъ, поэтому онъ назъ *распределительнымъ*. Отсѣчка же производится, какъ сейчасъ увидимъ, веряными пластинками, которыя потому назъ *расширительными*.



Фиг. 262.

Предположимъ, что оба золотника находятся въ среднемъ своемъ положеніи, представленномъ на чертежѣ. Допустимъ сначала, что разстояніе выступовъ  $m$  пластинокъ  $S_0$  до затѣржекъ  $q, q_1$ , а также разстояніе рожекъ  $n, n$  до кулачка  $K$  равны эксцентрицитету  $r$  эксцентрика, приводящаго въ движеніе нижній золотникъ. Такъ какъ этотъ послѣдній отклоняется отъ средняго положенія въ обѣ стороны на величину  $r$ , то, очевидно, что концы пластинокъ  $S_0$  будутъ прикасаться къ выступамъ какъ разъ въ концѣ размаха золотника и, слѣд., пластинки  $S_0$  не передвинутся по его поверхности, парораспределеніе будетъ проходить какъ при обыкновенномъ золотникѣ. Но если поставимъ кулачекъ  $K$  такъ чтобы разстояніе рожекъ  $n$  отъ него, при среднемъ положеніи золотника, было меньше 1 на величину  $x$ , то когда нижній золотникъ пройдетъ вправо отъ средняго положенія длину  $r = x$ , лѣвая накладка  $S_0$  ударится своимъ рожекъ о кулачекъ  $K$  и остановится, между тѣмъ какъ золотникъ будетъ продолжать двигаться, при этомъ отверстіи  $\delta$  канала  $a$  закроется, выпускъ пара прекратится и *начнется расширение*. Этотъ моментъ отсѣчки наступитъ тѣмъ раньше, чѣмъ длиннѣе выступъ кулачка  $K$ . Лѣвая пластинка  $S_0$  передвинется по поверхности золотника на величину  $x$ , слѣд., когда при обратномъ ходѣ золотникъ придетъ въ свое среднее положеніе, то конецъ лѣвой пластинки будетъ находиться отъ выступа  $q$  на разстояніи  $r - x$ , а не на разстояніи  $r$ , какъ прежде. при дальнѣйшемъ движеніи золотника влѣво, когда онъ пройдетъ путь  $r - x$ , пластинка  $S_0$  упрется въ выступъ  $q$  и остановится при чемъ отверстіи  $\delta$  снова отворится, между тѣмъ какъ правій золотникъ продолжаетъ свое движеніе влѣво и пройдетъ еще путь  $x$ . Такимъ образомъ, подѣ конецъ обратнаго хода золотника пластинка  $S_0$  займетъ свое прежнее положеніе отверстія  $\delta$  будутъ открыты, при слѣдующемъ размахѣ повторятся тѣ же явленія.

*Измѣненіе отсѣчки* достигается поворачиваніемъ въ ту или другую сторону кулачка  $K$ , которое производится отъ руки при помощи рукоятки, нацѣтой на ось кулачка или отъ регулятора, который для этого соединяется системою рычаговъ съ рукояткою, нацѣтой на ось кулачка  $K$ .

Золотникъ Фаръо распространенъ особенно во Франціи и Бель-



пени расширения, которая может быть изменена на ходу машины посредством вращенія винта ВВ въ ту или другую сторону. Поворачиваніе винта можетъ быть произведено отъ руки или отъ регулятора. Въ послѣднемъ случаѣ регуляторъ соединяется системою рычаговъ со стержнемъ ВВ, такъ что при измененіи скорости регуляторъ измѣняетъ степень расширения, именно увеличиваетъ ее при увеличеніи скорости и уменьшаетъ при уменьшеніи, и такимъ образомъ опять приводитъ скорость къ нормальной величинѣ. Впрочемъ золотникъ Мейера съ *автоматическимъ* регулированіемъ имѣетъ довольно рѣдкое примѣненіе, *во-первыхъ*, по причинѣ сложности устройства и медленности дѣйствія, *во-вторыхъ* для измѣненія отсѣчки въ крайнихъ предѣлахъ необходимо нѣсколько оборотовъ винта, и *во-третьихъ* потому, что при непрерывномъ дѣйствіи винта, вследствие высокой температуры, затрудняющей смазываніе, происходятъ скорое изнашиваніе такъ. Основательно пластинки устанавливаются отъ руки, а регуляторъ заставляютъ дѣйствовать на поворотный клапанъ.

На фиг. 263 изображенъ ручной механизмъ, служащій для перестановки пластинокъ. На лѣвой сторонѣ В заклиненъ маховичекъ W, служащій для вращенія винта. Винтъ со стержнемъ В вращается заклиненнымъ на немъ муфтономъ, соединенная паружною паралою и лишенная возможности дѣлаться поступательно. На муфтономъ насажена гайка, соединенная указателемъ а. При вращеніи маховика W гайка эта получаетъ поступательное движеніе, причемъ указатель ея, остановившись противъ того или другаго дѣленія, сдвинутого на втулкѣ V контрфорса Т, даетъ понятіе какъ о взаимномъ разстояніи расширительныхъ пластинокъ, такъ и о степени расширенія.

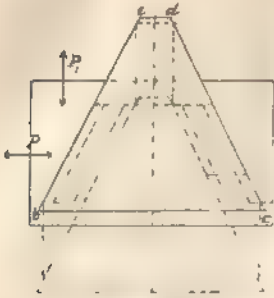


### 291. Золотникъ Ридера (фиг. 264). Основная идея

этого золотника, изобрѣтеннаго въ 1871 г. американцемъ Ридеромъ, та же что и золотника Мейера. Въ нижнемъ золотникѣ S устроены выпускные каналы а и б, которые въ нижней плоскости золотника параллельны между собою, а въ верхней сходятся подъ угломъ. Верхняя поверхность нижняго золотника обточена по цилиндру и по ней скользитъ верхній (расширительный) золотникъ, который можетъ въ тоже время поворачиваться около горизонтальной оси. Если развернуть цилиндрическую поверхность обоихъ золотниковъ въ плоскость, то получимъ фиг. 265. Здѣсь *bede* есть верхній золотникъ трапецидальной формы, его края параллельны краямъ паровыхъ окошекъ. Оба золотника получаютъ движеніе въ направленіи стрѣлки Р отъ эксцентриковъ, которые заклиниваются на главномъ валу совершенно также, какъ и въ зол. Мейера, слѣд., верх-

Фиг. 264

ный золотник Ридера действует как пластинки Мейера. Перемѣна отсѣчки достигается поворачиваніемъ трапецидальнаго золотника (отъ руки или отъ регулятора) около его оси, причемъ края его приближаются или удаляются отъ краевъ паровыхъ оконекъ нижняго золотника, слѣд. достигается тотъ же результатъ, какъ при поворачиваніи вѣнта пластинокъ Мейера.



Фиг. 265.

**292. Распределительный механизмъ Корлисса.** Механизмъ этотъ, принадлежащій къ числу совершеннѣйшихъ системъ распределенія пара, былъ изобрѣтенъ въ 1849 г. американцемъ *Корлиссомъ*, ко-

торый первый ввелъ также наиболѣе совершенную форму станину, такъ наз. *штыковую* (§ 307 и фиг. 287) станину. Со времени всемирной парижской выставки 1867 г. машины Корлисса получили и въ Европѣ обширное распространеніе.

Распределеніе пара по системѣ Корлисса совершается четырьмя *кранами*, изъ коихъ два (*впускные*) D и D<sub>1</sub> (фиг. 287) помѣщены изъ углахъ верхней паровой коробки R, прилитой къ горизонтальному паровому цилиндру A (послѣдній всегда снабжается паровою рубашкою) и получающей паръ изъ котла по трубѣ T, а два другіе, *выпускные*, внизу цилиндра, диаметрально противоположно первымъ. Всѣ четыре крана получаютъ движеніе отъ одного и того же эксцентрика при помощи особыхъ соединительныхъ механизмовъ и притомъ такимъ образомъ, что выпускные краны находятся въ непрерывающемся соединеніи съ эксцентрикомъ, между тѣмъ какъ впускные краны въ моменты отсѣчки, опредѣляемые регуляторомъ, расцѣпляются съ эксцентрикомъ и почти *мгновенно* закрываютъ выпускныя окна дѣйствіемъ пружинъ.

Фиг. 266 представляетъ въ поперечномъ разрѣзѣ впускной кранъ (чугунный). Онъ имѣетъ видъ цилиндрическаго сегмента a, сваженной прорѣзомъ, въ который входитъ прямоугольный стержень b, могущій вращаться около горизонтальной оси перпендикулярной къ оси цилиндра. Передній конецъ стержня имѣетъ цилиндрическую форму и пропущенъ черезъ сальникъ. Между стержнемъ и краемъ помѣщены двѣ пружины, обеспечивающія плотное прижатіе крана къ его сѣдлу, несмотря на изнашиваніе. Такое устройство обусловливаетъ сравнительно незначительное давленіе пара, а слѣд и слабое *трение*; поэтому кранъ требуетъ для своего движенія очень небольшой силы. Кромѣ того *переднее пространство* доведено до



Фиг. 266.

сдвигиваетъ сравнительно незначительное давленіе пара, а слѣд и слабое *трение*; поэтому кранъ требуетъ для своего движенія очень небольшой силы. Кромѣ того *переднее пространство* доведено до

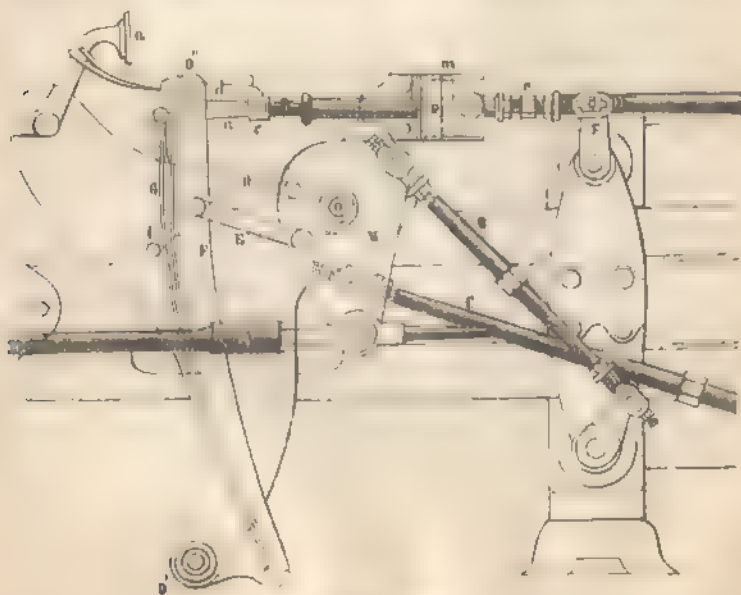


незначительной величины. *Выпускные краны* (фиг. 267) имѣютъ одинаковый диаметръ съ впускными, но дѣлаются почти вдвое шире послѣднихъ.

Обратимся теперь къ разсмотрѣнію самого распредѣлителя механизма. Центръ прибора составляетъ дискъ М (фиг. 268), который можетъ вращаться около оси О, параллельной главному валу машины. Дискъ этотъ приводится въ движеніе тягою А эксцентрика, заклиненного на главномъ валу подъ угломъ (къ кривошипу), большимъ  $90^{\circ}$  на величину обыкновеннаго угла опереженія. Къ диску М подвѣшены 4 тяги В, С, D и Е, изъ коихъ В и С, направленные къ нижней части цилиндра, вращаютъ выпускные краны, а



Фиг. 267.



Фиг. 268.

двѣ другія (D и Е) идутъ не прямо къ выпускнымъ кранамъ, а къ двумъ длиннымъ рычагамъ F и G, могущимъ вращаться около общей неподвижной оси О'. Вдоль каждого изъ рычаговъ идетъ пружина t, сочленяющаяся наверху, посредствомъ тяги а, со стержнемъ b, который приводитъ въ движеніе выпускной кранъ. На этомъ стержнѣ имѣется поршень p, движущійся внутри цилиндра m, представляющаго собою воздушный бѣферъ. Изъ точекъ сочлененія тяги



а со стержнем *b* находится стальная пластинка *c*, за которую может зацеплять ланка *d*, укрепленная на самомъ концѣ рычага *F* и могущая вращаться около оси *O''*. Эта ланка представляетъ собою промежуточный органъ соединяющій, экцентрисъ галнаго вала съ впускнымъ каналомъ. Упираясь въ стержень *b* ланка *d*, при своемъ движеніи вправо, перемѣщаетъ его вправо, стѣбая пружину *t*: край *f* открывается. При этомъ движеніи ланка встрѣчаетъ (въ моментъ отѣчки) на своемъ пути бородокъ *n* и, повернувшись около своей оси, расцѣпляется со стержнемъ *b*, тогда сѣтяжкомъ пружины *t* край *f* быстро закрывается, причемъ воздушный буферъ *m* получаетъ ударъ, производимый пружиною. Съ этого момента начинается расширение пара. Бородокъ *n* находится, при посредствѣ рычага, въ связи съ муфтою регулятора, такъ что при увеличеніи скорости машины, бородокъ приближается къ клавишѣ, и расширение начинается раньше, а при уменьшеніи скорости бородокъ *n* удаляется отъ клавиши и расширение начинается позже.

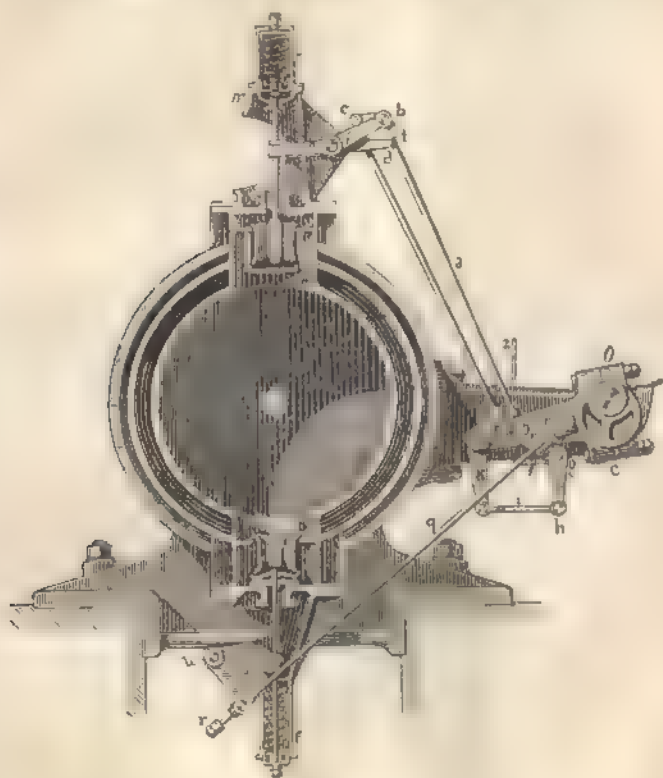
Изъ сказаннаго выше можно резюмировать слѣдующія достоинства системы Корнесса: 1) весьма удобное регулирование отѣчки, а, слѣд., и хода машины; 2) незначительность вредныя протрапности (не  $> 2\%$  объема цилиндра); 3) герметическая приядка краевыхъ и изъ сѣдкамъ торцового тѣла; 4) экономія затратъ на движенье краевыхъ торцовъ меньше, по сравнению съ золотниками; 5) открываніе и въ особенности закрываніе краевыхъ происходитъ быстро, чѣмъ и обуславливаетъ сжиганіе паровыхъ оконекъ; 6) нецѣлостность независимости впускныхъ и выпускныхъ оконекъ уменьшаетъ потеря пара по причинѣ конденсаціи его на стѣнкахъ каналовъ.

Однако по самому свойству механизма расширеніе можетъ мѣняться въ довольно узкихъ предѣлахъ (0 до  $40\%$ ), сверхъ того скорость машины не должна быть слишкомъ велика (не  $> 60$  обор. въ м.), во избѣжаніе скорого расстройтва столь сложнаго и деликатнаго механизма.

**293. Распределительный механизмъ Зульцера** Распределение пара по спетемъ швейцарскаго изобрѣтателя Зульцера основано на тѣхъ же принципахъ, какъ и распределение Корнесса, но совершается не краями, а при помощи 4 уравновѣшенныхъ клапановъ, изъ коихъ два, *впускные*, помѣщены вверху цилиндра (всегда горизонтальнаго, снабженнаго рубашкою), по концамъ верхней производящей, а другіе два, *выпускные*, внизу, подъ перемычн.

На фиг. 269 представленъ нѣ вертикальный разрѣзъ паровой цилиндра съ распределительнымъ механизмомъ новѣйшей конструкціи (1878 г.). А есть паровпускной клапанъ, В—выпускной. Сбоку пароваго цилиндра, параллельно его оси, идетъ валъ *O*, дѣлающій одинаковое число оборотовъ съ главнымъ валомъ машины, отъ котораго онъ получаетъ движеніе при помощи пары коническихъ ко-

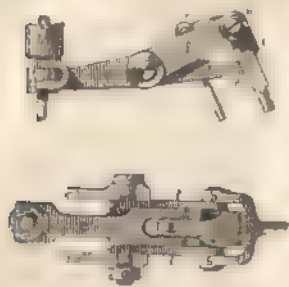
десъ. На валу *o* заклинены два эксцентрика *c* изъ которыхъ каждый управляетъ двумя клапанами—впускнымъ и выпускнымъ съ тягою эксцентрика въ точки и сочленены стержень *a*, идущій вверхъ и дѣл. подъеки *п*; насаженные вольно на ось *g* и имѣющіе назначеніе поддерживать тягу *b* эксцентрика. При вращеніи вала *o* точка *п*, а также нижній конецъ тяги *a*, описываютъ дугу круга радиуса *пг*. между тѣмъ какъ конецъ *l* тяги описываетъ свое-



Фиг. 269.

образную овальную кривую. Визобразный верхній конецъ тяги *a* передаетъ колебальное движеніе вверхъ—внизъ подвижной оси *b*, на которой укрѣплена двойная серьга *l* и колычатый рычажокъ *сbt*. Конецъ *с* этого рычажка сочлененъ съ тягою *сп*, получающею движеніе отъ регулятора, а конецъ *t* (бородкомъ), ограниченный снизу цилинрической поверхностью радиуса *bt* (фиг. 270), упирается въ клинину *d*, имѣющую форму также цилиндрической поверхности, концентрической съ бородкомъ *t*, и образующую конецъ звуплеаго рычага *dfe*.

Рычагъ этого другимъ концомъ соединенъ со стержнемъ впускнаго клапана А; ось і этого рычага неподвижна. При движеніи тяги а внизъ бородокъ t, соприкоснувшись въ извѣстный моментъ съ клавишею d, нажимаетъ на рычагъ de, причемъ клапанъ А открывается; но въ тоже время, вследствие бокового движенія (влево)



Фиг. 270

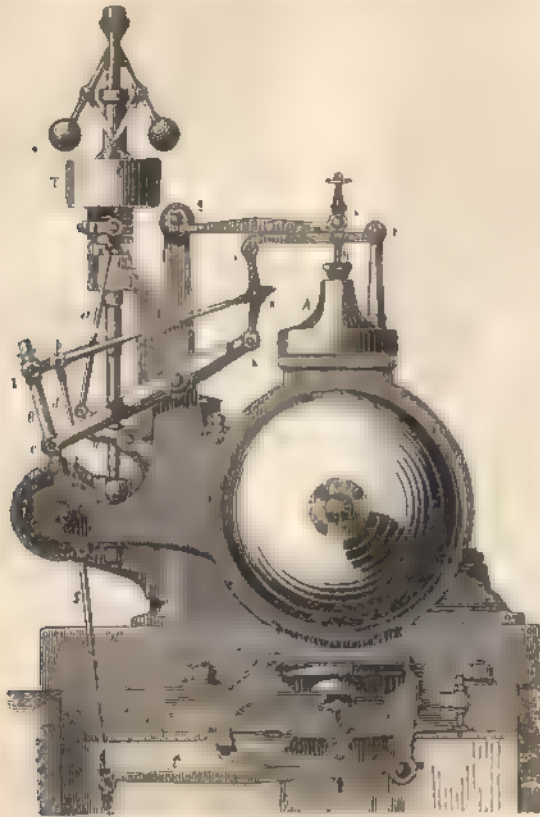
стержня ер. бородокъ скользитъ по клавишѣ, пока не расщепится съ нею въ моментъ отсѣлки, причемъ клапанъ быстро закрывается, дѣйствіемъ упругости пружины Е, сжатой въ периодъ открыванія. Для ослабленія удара клапана о сѣдло служить воздушный бѣверъ m. Продолжительность сѣбления бородка t съ клавишею d, обуславливающая болышую или меньшую степень расширенія, управляется регуляторомъ слѣдующимъ образомъ. Тяга z, идущая отъ муфты регулятора, соединена съ колычатымъ рычагомъ lgh, вращающимся около оси g. Стержень і соединяетъ конецъ h этого рычага съ концомъ втораго лопатнаго рычага kpr, ведущаго (концомъ p) тягу ps. При уменьшеніи скорости машины муфта регулятора, опустившись, вдвинетъ при помощи описанной системы рычажковъ, бородокъ t глубже въ клавишу, вследствие чего сѣбление илхъ, а потому и впускъ свѣжаго пара, происходитъ дольше, работа пара увеличится. При увеличеніи скорости машины происходятъ обратныя явленія.

Открываніе выпускныхъ клапановъ производится тою же экцентровою тягою D, при помощи двойнаго стержня q, верхніе концы котораго прикрѣплены къ тягѣ D, а нижніе проходятъ сквозь втулки, прилитыя къ треугольному рычагу s, вращающемуся около оси u. Третій уголъ этого рычага соединенъ со стержнемъ выпускнаго клапана В. При движеніи тяги q вверхъ конецъ r ея, коснувшись втулки рычага s, поворачиваетъ послѣдній противъ часовой стрѣлки, при чемъ клапанъ открывается. Послѣ расщепленія стержня q и рычага s клапанъ плотно садится на свое сѣдло дѣйствіемъ пружины F.

Преимущество системы Зуллера передъ предыдущею заключается въ томъ, что она допускаетъ болыше предѣлы расширенія (отъ 0 до 0.7). При хорошемъ выполненіи расходъ пара въ илхъ, какъ и въ машинахъ Корлисса, доходитъ до  $7\frac{1}{2}$  кг. на 1 индик. силу въ часъ.

**294. Распределительный механизмъ Кольмана.** (Фиг. 271). Подобно механизму Зуллера распределение пара по сѣткамъ Кольмана производится 4 клапанами: двумя впускными и двумя выпускными. Вторые пятьютъ во все время хода машины одно и то

же движениі, но движеніе первыхъ измѣняется, смотря по потребности въ полезной работѣ машины, непосредственнымъ дѣйствіемъ регулятора. Отличіе системы Кольмана отъ системы Зульнера состоитъ въ томъ, что какъ открываніе такъ и закрываніе клапановъ производится съ одинаковою точно тѣю и быстрою самымъ механизмомъ, между тѣмъ какъ въ системѣ Зульнера закрываніе клапановъ производится особыми пружинами и, слѣд., находится



Фиг. 271.

въ зависимости отъ переменнаго тренія въ сальникѣ клапанной коробки и отъ переменнаго сопротивленія воздуха въ буферѣ, назначенномъ для смягченія удара въ клапанъ о сѣдо.

На фиг. 271 представленъ механизмъ Кольмана повѣйшей конструкции въ положеніи, при которомъ начинается подъемъ впускнаго клапана (открытіе впускнаго клапана). Оба распределительные эксцентрика *E* заклинены на горизонтальномъ валу, параллельномъ оси цилиндра и дѣлющемъ одинаковое число оборотовъ въ ми-

шту съ главнымъ валомъ машины. Тяга В эксцентрика сочленена съ двуплечнымъ рычагомъ СОК, вращающимся около неподвижной оси О и сообщающимъ плечомъ к движению выпускному клапану А, соответствующее выпуску свѣжаго пара. На продолженіи цилиндрической тяги В эксцентрика надѣта втулка І, свободно скользящая по тягѣ и соединенная посредствомъ тяги Іп съ колебательнымъ рычагомъ кпі, послѣдній состоитъ изъ двухъ подфисокъ Іп и Ік, соединеннымъ между собой шарниромъ п. Вѣдѣствие чего при движении всего механизма уголъ Іпк измѣняется въ предѣлахъ, определяемыхъ съ одной стороны положеніемъ втулки І на тягѣ В, а съ другой движеньемъ плеча к рычага КОВ. Положеніе же втулки І на тягѣ В определяется въ каждый моментъ съ одной стороны большимъ или меньшимъ отклоненіемъ вѣлво или вправо конца эксцентриковой тяги при движеніи ея внизъ или вверхъ въ теченіе одного оборота эксцентрика Е, а съ другой — положеніемъ муфты регулятора Т. Последняя соединена при помощи тягъ а и б съ осью г, съ которою соединена также тяга Іа при помощи рычаговъ г и у. Легко видѣть, что при увеличеніи скорости машины, когда муфта Т поднимается, вѣлѣтъ съ нею поднимется и втулка І, вѣдѣствие чего уменьшится уголъ Іпк. Движеніе стержню q клапана отъ шарнирнаго колѣна Іпк передается при посредствѣ контр-рычаговъ Іт и gh.

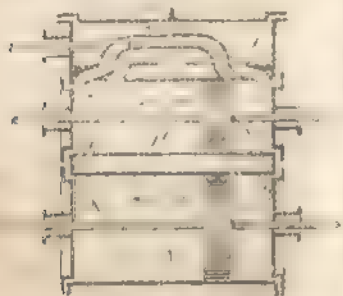
При положеніи частей механизма, представленномъ на чертежѣ, поршень не дошелъ до мертвой точки на величину хода, соответствующую опереженію выпуска, эксцентрикуетъ эксцентрикъ Е, (а, с, d, e, и тяга В) начинаетъ опускаться, при чемъ конецъ к рычага КОК начинаетъ подниматься, двигаясь по дугѣ круга. Пока уголъ колѣна Іпк достаточно великъ клапанъ поднимается дѣйствіемъ давления рычага Іт на рычагъ gh, но съ замѣтнымъ опусканіемъ тяги В (въ теченіе всего полуоборота эксцентриковаго вала) непрерывное движеніе рычага к, сгибающее колѣно Іпк, комбинируясь съ отклоненіемъ втулки І вѣлѣтъ съ концемъ эксцентриковой тяги вѣлво, а также съ движеньемъ этой втулки и стержня Іа, связаннымъ имъ регуляторомъ, произведетъ расширение стержней іі и gh, въ такой же постепенности, въ какой происходило изъ сѣдѣніе, слѣдствіемъ чего произойдетъ отѣчка (клапанъ закроется). Послѣ закрытія клапана рычагъ Іт продолжитъ свободно опускаться. Во время взаимодѣйствія рычаговъ іі и gh первый катится по нижней поверхности втораго, вѣдѣствие чего точка касанія ихъ постепенно приближается къ оси g рычага gh, при поднятій клапана и удаляется отъ нея при опусканіи, чѣмъ обуславливается быстрое и при томъ увеличенное (по отношенію къ перемѣщенію точки і) поднятіе или опусканіе клапана. Степень расширенія, допускаемая этимъ механизмомъ, измѣняется въ предѣлахъ отъ 0 до 0,9.





поршня; из нижней части цилиндра отработавший пар уходит по каналу *и*, под золотникъ, затѣмъ по выпускному каналу *О* и по соединительной трубѣ (обыкновенной пунжировой) въ золотниковую коробку *К*, большого цилиндра, откуда поступает по каналу *1*, въ верхнюю часть большого цилиндра *В*. Въ этомъ цилиндрѣ паръ работаетъ какъ сѣжій паръ изъ котла, только упругость его меньше. Съ другой стороны большого поршня мягкий паръ уходитъ по каналу *У*, подъ золотникъ, а оттуда въ холодильникъ.

Въ настоящее время машины Вульфа строятся болѣею частью безъ коромысла, при чемъ цилиндрамъ даютъ горизонтальное или наклонное положеніе, устанавливая ихъ рядомъ, одинъ надъ другимъ или одинъ за другимъ. Каждый цилиндръ снабжается отдельнымъ золотникомъ (обыкновенно коробчатый—Мейера или Ридера) или же, если паръ въ маломъ цилиндрѣ работаетъ безъ расширения, для обоихъ цилиндровъ устанавливается въ общей золотниковой коробкѣ одинъ золотникъ. *Гика*, какъ представлено на фиг. 273. На малый поршень *с*, правой стороны дѣйствуетъ сѣжій паръ, отработавшій паръ изъ лѣвой части цилиндра уходитъ по каналу *а*, сѣянному въ золотникѣ, и затѣмъ по особой соединительной трубкѣ *б* въ правую часть большого цилиндра, гдѣ и расширяется. Мягкий паръ изъ большого цилиндра вытѣсняется въ холодильникъ, какъ покажутъ стрѣлками.



Фиг. 273.

Хотя работа пара въ машинахъ Вульфа, какъ показываютъ вычисления, при одинаковой степени расширения, равна работѣ того же количества пара въ машинѣ съ однимъ цилиндромъ, размѣры котораго равны размѣрамъ большого цилиндра, тѣмъ не менѣе система Вульфа представляетъ многія важныя преимущества передъ обыкновенными машинами. Чтобы выяснитъ эти достоинства м. Вульфа, предположимъ, что объемъ большого цилиндра въ четыре раза болѣе малаго, а площадь большого поршня въ три раза больше площади малаго поршня. Паръ, вступающій въ большой цилиндръ (стрѣлка 2), дѣйствуетъ на оба поршня на большой — какъ движущая сила, на малый — какъ сопротивленіе. Но какъ площадь большого поршня въ три раза болѣе малаго, то давленіе этого пара на большой поршень, направленное внизъ, въ три раза болѣе давленія его на малый поршень вверхъ, слѣд., полезное давленіе на общую крестовину имѣетъ величину, болѣе большую этого противодавленія на малый поршень. Но мѣръ движенья поршней (въ одну и ту же сторону, по стрѣлкѣ), паръ расширяется все болѣе и болѣе, при чемъ упругость его постепенно уменьшается (у обо-

нхъ поршней) Въ концѣ хода поршней паръ, занимавшій до начала впуска въ большой цилиндръ объемъ, равный объему малаго цилиндра, будетъ занимать объемъ въ четыре раза большій, слѣд., его упругость будетъ въ четыре раза меньше первоначальной (до пуска, что паръ расширяется, слѣд.у закону Марриота, что весьма близко къ действительности, § 264). Отсюда слѣдуетъ:

1) *противодавленіе* отработавшаго пара на малый поршень въ началѣ его хода велико, но затѣмъ постепенно уменьшается, слѣд., *полезное давленіе* (§ 263) на этотъ поршень (въ началѣ небольшого) постепенно *уврастается*, ибо рабочее давленіе свѣжаго пара на этотъ поршень остается постояннымъ. Наоборотъ, *полезное давленіе* на большой поршень, большое въ началѣ хода постепенно затѣмъ уменьшается. Поэтому *полное полезное давленіе* на оба поршня въ течение всего хода поршня, при надлежащей соразмѣрности частей системы, *почти неизмѣняется*, не смотря на значительное расширение, что составляетъ одно изъ важнѣйшихъ достоинствъ рассматриваемой системы, обуславливающее чрезвычайно равномерный ходъ машинъ Вульфа.

Если припомнить распределительный механизмъ малаго цилиндра къ расширенію пара и въ этомъ послѣднемъ, то получимъ *циркуляционное* расширеніе пара, при чемъ утилизированное рабочее силы пара можетъ быть доведено до высшей степени. Если, въ предыдущемъ примѣрѣ устроить отсѣчку на  $\frac{1}{2}$  хода малаго поршня, то паръ будетъ работать съ 12-кратнымъ расширеніемъ. Что касается *наименьшаго отношенія объемовъ цилиндровъ* ( $\epsilon_1$  в степени расширенія  $\epsilon_2$  въ большомъ ц.), то оно равно *степени расширенія*  $\epsilon_1$  въ маломъ цилиндрѣ. Полная степень расширенія  $\epsilon = \epsilon_1 \epsilon_2$ . Напр., если такая полная степень расширенія  $\epsilon = 9$ , и степень расширенія въ маломъ ц.  $\epsilon_1 = 3$ , то объемъ большого ц. долженъ быть въ три раза больше объема малаго цилиндра. Если же паръ въ маломъ ц. работаетъ безъ расширенія ( $\epsilon_1 = 1$ ), то отношеніе объемовъ цилиндровъ определяется заданною полною степенью расширенія  $\epsilon$ , напр., при  $\epsilon = 9$ , объемъ большого цилиндра долженъ быть въ 9 разъ больше объема малаго цилиндра.

2) Другое преимущество системы Вульфа состоитъ въ томъ, что пространство, периодически сообщавшееся съ холоднакомъ, слѣд., периодически охлаждающееся, выполняется паромъ большаго давленія, а потому конденсация пара на стѣнкахъ происходитъ въ меньшей степени, нежели въ одноцилиндровыхъ машинахъ.

3) Наконецъ, потеря пара черезъ зазоры поршня и золотника гораздо меньше, нежели въ одноцилиндровыхъ машинахъ, ибо эта потеря падаетъ въ прямой зависимости отъ разности давленій по обѣимъ сторонамъ поршня, а эта разность въ машинахъ Вульфа гораздо меньше.

**296. Распределеніе пара въ компаундъ-ресиверъ машинахъ.**

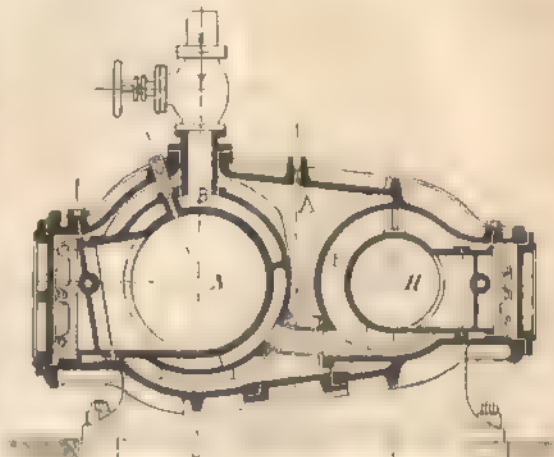
Въ машинахъ Вульфа, какъ мы видѣли, вѣдѣствіе расположенія кривошиповъ подѣ угломъ  $0^\circ$  или  $180^\circ$ , оба поршня одновременно приходятъ въ одноименныя или разноименныя мертвыя точки, малый же цилиндръ бываетъ въ сообщеніи съ большимъ въ продолженіе всего хода поршня. Въ машинахъ системы *компанноу* кривошипы расположены подѣ угломъ  $90^\circ$ , вѣдѣствіе чего, когда одинъ поршень находится въ мертвой точкѣ, другой въ этотъ моментъ находится почти въ серединѣ хода, такъ что одинъ кривошипъ сводитъ другой съ мертвой точки (§ 76 — *краткіе кривошипы*), что способствуетъ еще большей *равномерности* хода, нежели въ машинахъ Вульфа. На этомъ основаніи машины *компанноу* наз. *машинами Вульфа безъ мертвыхъ точекъ*. Другое отличіе машинъ *компанноу* отъ м. Вульфа состоитъ въ существованіи у первыхъ промежуточнаго резервуара (по англ. *ресивера*), помещаемаго между цилиндрами, въ который переходитъ паръ по окончаніи расширенія въ маломъ цилиндрѣ, изъ ресивера паръ поступаетъ въ большой цилиндръ, для котораго онъ играетъ роль котла. Отсюда название системы *компанноу ресиверъ машины*.

Для уясненія необходимости ресивера, замѣтимъ, что такъ какъ сообщеніе и раскодненіе рабочей части большого цилиндра съ нерабочей частью малого должно происходить тогда, когда большой поршень находится въ своихъ мертвыхъ точкахъ, то ясно, что сообщеніе нерабочей части малого цилиндра съ рабочей частью большого будетъ происходить, когда малый поршень находится около середины своего хода, такъ что *въ течение первой половины размаха* паръ не выходитъ изъ нерабочей части малого цилиндра, следовательно, подвергаться *сжатию*. Хотя работа, затраченная на это сжатіе, затѣмъ во вратилась бы для дѣйствія машины во время расширенія сжатого пара, но при этомъ произойдетъ излившія потери работы на безполезныя сопротивленія, которыя дѣйствуютъ какъ во время сжатія, такъ и во время расширенія. Очевидно, невыгодное вліяніе сжатія будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше будетъ го окончательное давленіе, до котораго будетъ доводится упругости пара черезъ рассматриваемое сжатіе въ нерабочей части малого цилиндра. Для достиженія этого устраиваютъ между большимъ и малымъ цилиндрами промежуточный *резервуаръ*, который въ течение первой половины размаха малого поршня сообщенъ съ нерабочей частью малого цилиндра, а *около середины его размаха* (т. е. около мертвой точки большого поршня) *приходитъ въ сообщеніе съ рабочей частью большого цилиндра*, оставаясь въ этомъ состояніи въ течение второй половины размаха малого поршня, при чемъ большой поршень проходитъ первую половину своего хода. Затѣмъ нерабочая часть малого цилиндра обращается въ рабочую, она должна быть отслѣплена отъ резервуара, съ которымъ приходитъ въ сообщеніе отработавшая часть малого цилиндра. Въ это время рабо-

чая часть большого цилиндра также отдѣляется отъ резервуара работа къ немъ производится расширеніемъ только что впускнаго объема пара. Такое устройство требуетъ для каждого цилиндра отдѣльнаго парораспределительнаго прибора какъ для впуска, такъ и для выпуска пара.

Оба цилиндра компаундъ машинъ имѣютъ обыкновенно паронны рубашки (В, фиг. 271) съ прогревомъ свѣжимъ паромъ. Ресиверъ устраивается обыкновенно въ видѣ кольцевой камеры А, окружающей оба цилиндра, а иногда въ видѣ отдѣльнаго цилиндра помѣщаемого между паровыми цилиндрами (фиг. 298). Объемъ его дѣлается отъ  $\frac{2}{3}$  до 1 объема большого цилиндра.

Обладая весьма равномернымъ ходомъ, *компаундъ-ресиверъ* машины легко могутъ быть приве-



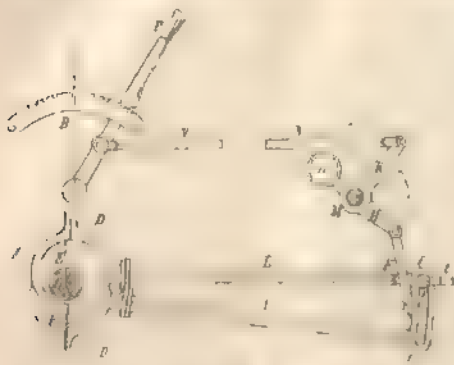
Фиг. 274.

денны въ дѣйствіе изъ любого положенія послѣ остановки, а потому уже успѣли вытѣснить почти всѣ другія системы морскихъ машинъ, распространяясь съ успѣхомъ и на всѣ обыкновенныя фабричныя машины.

**297. Кулисы** Въ тѣхъ случаяхъ, когда машина должна имѣть направленіе своего движенія — *поднимать обратный ходъ* (такъ наз. *реверсивныя* машины, локомотивныя, пароходныя, прокатныя, угольно-земныя и т. п.) необходимо имѣть средство быстро и удобно переставлять золотникъ, такъ, чтобы пролетѣлъ, выпускающій паръ, съдвинулся пролетомъ впускнымъ, тогда паръ, устремившись изъ котла въ рабочую часть цилиндра, заставитъ поршень, а слѣд. и кривошипъ переизмѣнить ходъ. Механизмы, служащіе для этой цѣли наз. *кулисами*; изъ нихъ наиболѣе распространены кулисы *Стифенсона, Гуча и Аллана*.

*Кулиса Стифенсона* (1842 г.) состоитъ изъ двухъ эксцентриковъ  $E$  и  $E_1$  (фиг. 275), закованныхъ на валу  $O$  симметрично по отношенію къ кривошину подъ углами  $90 + \beta$  ( $\beta$  — уголъ опереженія). Концы тягъ  $L$  и  $L_1$  этихъ эксцентриковъ соединены посредствомъ шарнировъ съ концами дугообразной полосу  $C$   $C_1$ , обращенной выпуклостью къ цилиндрамъ и наз. *кулисою*, въ про-

рѣзѣ которой помѣщать ползуны ] (или такъ наз. *камень кулисы*), съ которыми соединены штокъ золотника. Кулисса подвѣшена своєю серединою посредствомъ серьги F къ концу II рычага НМК, который можетъ вращаться около неподвижной оси М, и уравновѣшена противовѣсомъ д. Конецъ К рычага НМК соединяется при помощи полосы NN съ рычагомъ Р (*реверсомъ*).



Фиг. 275.

Поворачивая реверсъ, можно установить кулиссу такъ, что ползунъ станетъ близъ того или другого конца ея или въ произвольной промежуточной точкѣ. Такъ какъ эксцентрицитеты эксцентриковъ составляютъ между собою уголъ, близкій къ  $180^\circ$ , то когда верхній конецъ кулиссы идетъ слѣва направо,

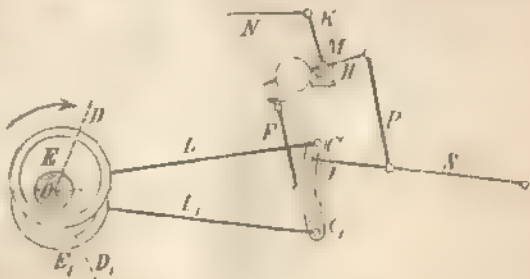
тогда нижній идетъ справа налѣво, т. е. кулисса качается около точки М, которая почти неподвижна, между тѣмъ какъ концы кулиссы описываютъ наибольшія амплитуды. Если кулисса совершенно опущена (какъ на фиг. 275), то при движеніи машины золотникъ передвигается тѣмъ эксцентрикомъ (Е), съ тягою котораго соединенъ верхній конецъ кулиссы, т. е. въ этомъ случаѣ парораспределение производится также, какъ въ паровыхъ машинахъ съ однимъ золотникомъ. Вращеніе вала происходитъ по стрѣлкѣ (*прямой ходъ*). Если же переставить камень ближе къ серединѣ кулиссы, то *величина хода золотника уменьшится*, какъ будто бы золотникъ передвигался эксцентрикомъ, имѣющимъ меньшій эксцентрицитетъ. Но съ уменьшеніемъ эксцентрицитета уменьшается выпускъ пара въ цилиндръ (§ 2-4) слѣд., *чѣмъ ближе стоитъ камень къ серединѣ кулиссы, тѣмъ меньше выпускъ сжатого пара въ цилиндръ* т. е. тѣмъ съ большимъ расширеніемъ будетъ работать паръ, одною, вѣстѣ, съ тѣмъ *увеличится притокъ контр-пара* (двигенное опереженіе впуска, т. е. величина отгрядъ паропустныхъ каналовъ, когда поршень стоитъ въ мертвой точкѣ) и при томъ въ такой степени, что когда камень стоитъ въ серединѣ кулиссы притокъ контр-пара въ проходе на такой же части длины хода поршня, какъ и притокъ свѣжаго пара (расширеніе и сжатіе при этомъ также симметричны), слѣд., при этомъ положеніи камня *работѣ ползнаго давления пара равна нулю*, машина должна остановиться рано или поздно. Поэтому середина кулиссы наз. *мертв. точкою*. Наконецъ, если кулисса будетъ совершенно поднята, такъ что камень ея будетъ стоять въ ниж-



немъ концѣ кулисы, то на движеніе камня будетъ оказывать влияние только эксцентрикъ  $E_1$ , причѣмъ кривошипъ будетъ вращаться въ сторону, противоположную стрѣлкѣ (*обратный ходъ*).

Изъ сказаннаго ясно, что при помощи кулисы Стифенсона можетъ быть достигнута не только *перемена ложи* машинъ, но и измѣненіе отѣжки. Передвиженіе реверса въ большихъ машинахъ, напр. локомотивахъ, совершается отъ руки, что не составляетъ затрудненія, если части хорошо уравновѣшены противобѣсомъ и, для удержанія реверса на вѣѣтвѣхъ хвѣста дуги В (въ локомотивахъ болѣеюшю на трѣтѣхъ) отъ передняго края (для *прямонаго хода* паровоза) служитъ особая ланца (или *синиглазъ*), прикрѣпленная къ реверсу. Въ большихъ реверсивныхъ машинахъ (мореходныхъ, прокатныхъ) передвиженіе реверса производится при помощи винтового привода, который самъ получаетъ движеніе или отъ руки или отъ особой махуновой реверсивной машины, кулису которой машинистъ передвигаетъ отъ руки (въ большихъ морскихъ пароводныхъ машинахъ).

**298. Кулисса Гуча** (фиг. 276) отличается отъ предыдущей во первыхъ тѣмъ, что она обращена къ цилиндру *вогнутою* стороной, а во вторыхъ тѣмъ, что сама кулисса подвѣшена помощью тяги  $F$  не къ переводному рычагу, а къ неподвижной точкѣ къ переводному же рычагу подвѣшена золотниковая тяга  $S$ , такъ что при движеніи реверса передвигается камень, а не кулисса. Верхній эксцентрикъ  $E$  соответствуетъ переднему ходу машинъ, нижній  $E_1$  заднему.



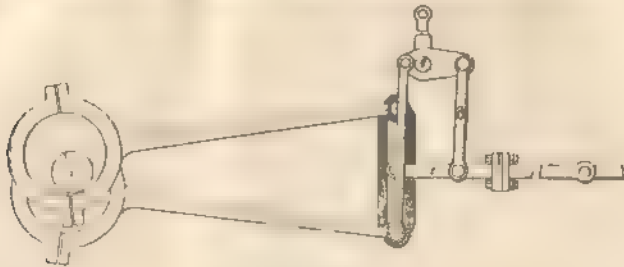
Фиг. 276.

Преимущество кулисы Гуча передъ кулисою Стифенсона заключается въ томъ, что при всякой степени разширенія, какъ для прямого, такъ и для обратнаго хода, *линейное отнрженіе остается безъ измѣненія*, слѣд. кулисса Гуча работаетъ правильно кулисса Стифенсона, но устройство ея менѣе компактное она занимаетъ много мѣста въ длину, а потому почти никогда не применяется въ паровозахъ и пароводахъ, но за то очень часто при углекодныхъ машинахъ большой силы.

**299. Кулисса Аллана** (фиг. 277) представляетъ комбинацію предыдущихъ кулисъ. Сама кулисса совершенно *прямая* и подвѣшена вмѣстѣ съ золотниковою тягою къ двумъ плечамъ б и д одного и того же рычага в, такъ что при движеніи реверса и ку-



леса и золотниковая тата 2 передвигаются одновременно, но въ противоположныя стороны. Какъ и въ кулисахъ Гифенсона, съ увеличеніемъ расширенія *увеличивается опрессіе втулки*. Кулисса



Фиг. 277.

Атмосферныя вѣсъ предвѣдѣхъ, и изнашиваніе многочисленныхъ шарнировъ ея оказываетъ большое влияние на правильность ея дѣйствія. Применяется она главнымъ образомъ при большихъ реверсивныхъ прокатныхъ машинахъ.

**300 Холодильники.** *Холодильникомъ или конденсаторомъ* наз. металлическій сосудъ, въ которомъ производится быстрое и полное охлажденіе (конденсация) мятая пара, съ цѣлью уменьшенія противодавленія на поршень пароваго цилиндра, что имѣетъ особенно важное значеніе въ машинахъ средняго давленія съ значительнымъ расширеніемъ пара. Вѣдѣствіе конденсация пара въ холодильникъ образуетъ разряженное пространство или такъ наз. *вакуумъ* (пустота); давленіе мятая пара, въ моментъ сообщенія нерабочей части цилиндра съ холодильникомъ, быстро падаетъ почти до давленія, господствующаго въ холодильнике, соответственный вакуумъ въ конденсаторѣ поддерживается непрерывнымъ охлажденіемъ вступающаго въ него мятая пара.

Холодильники бываютъ трехъ родовъ: 1) *холодильники съ внутреннимъ охлажденіемъ*; 2) *поверхностные холодильники* или съ *наружнымъ охлажденіемъ* и 3) *подоструйные холодильники*.

**301. Холодильникъ съ наружнымъ охлажденіемъ** (фиг. 278) состоитъ изъ слѣдующихъ главныхъ частей.

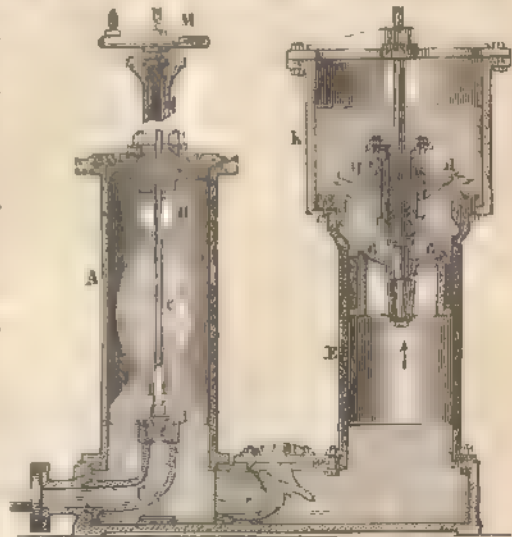
1) собственно *холодильника* А, герметически закрытаго чугуннаго сосуда, въ которомъ происходитъ конденсация пара и образованіе вакуума. Давленіе въ холодильникѣ, которое всегда меньше 1 атм., указывается особымъ приборомъ, сходнымъ съ манометромъ и наз. *вакууметромъ*. Спиральная труба вакуметра, несущая стрѣлку имѣетъ болѣе плоскую форму и болѣе тонкія стѣнки, нежели у манометра. Будучи сообщена съ вакуумомъ она *сплющивается*, подъ дѣйствіемъ избытка наружнаго давленія, и тѣмъ болѣе, чѣмъ меньше давленіе въ холодильникѣ, при чемъ стрѣлка продвигается

сѣлка на право отъ нуля, которому соответствуетъ давленіе въ холодильникѣ равное 1 атм., это давленіе бываетъ въ немъ по речѣ началомъ работъ, когда холодильникъ еще не приготовленъ. *Подготовка* состоитъ въ томъ, что черезъ особый крайъ выпускаютъ въ холодильникъ свѣжій паръ, который выгоняетъ скопившіеся

воздухъ и, конденсируясь на стѣнкахъ, образуетъ надлежащій вакуумъ. Циферблатъ вакуметра имѣетъ 30 дѣленій, по числу дюймовъ ртутнаго способа, измѣряющаго атмосферное давленіе. Каждому дѣленію, на которое повернется стрѣлка, будетъ отвѣчать пониженіе давленія въ холодильнике на  $\frac{1}{30}$  атм. Такъ, напр., если давленіе въ холодильнике будетъ  $\frac{3}{4}$  ати., то стрѣлка сдѣлаетъ  $\frac{1}{4}$  оборота, т. е. будетъ указывать дѣленіе 7,5, если вакуумъ будетъ въ  $\frac{1}{2}$  атм., то стрѣлка сдѣлаетъ  $\frac{1}{2}$  оборота, т. е. укажетъ дѣленіе 15, на-

конѣцъ если бы въ холодильнике былъ абсолютный вакуумъ (безвоздушное пространство), то стрѣлка сдѣлала-бы полный оборотъ, возвратилъ къ 0. Но въ холодильникъ никогда не можеть быть достигнута абсолютная чистота, потому что съ одной стороны въ него непрерывно вступаетъ мытый паръ и наружный воздухъ проникаетъ черезъ неплотности фланцевыхъ соединеній и сальниковъ, а съ другой стороны потому, что и паръ и охлаждающая вода приносятъ съ собою довольно значительное количество воздуха. Вакуумъ считается достаточнымъ, если давленіе въ холодильнике находится въ предѣлахъ 0,1—0,2 атм., чему соответствуетъ температура холодильника  $50^{\circ}$ — $60^{\circ}\text{C}$ . Для средняго давленія 0,2 атм. показаніе стрѣлки будетъ 24 дѣл.

2) *брызгиватель* (D) холодной воды, которая приводится трубою С, закрытою коническимъ клапаномъ D, служащимъ для регулированія (сообразно показанію вакуметра) количества брызгаемой воды. Движеніе клапану сообщается при помощи стержня е, проходящаго черезъ сальникъ, сдѣланный въ крышкѣ холодильника, и снабженнаго на конѣ ручнымъ маховичкомъ М. Вода брызгается на встрѣчу входящему пару черезъ кольцообразное



Фиг. 278.

отверстие, образующееся въ устьѣ трубы, при чемъ почти весь паръ конденсируется. Вода собирается въ нижней части холодильника.

3) *насосъ холодной воды* имѣющій назначеніе накачивать воду въ резервуаръ, изъ котораго она расходуется черезъ вбрызгиватель. Этотъ насосъ обыкновенно простаго дѣйствія.

Количество воды, потребной для охлажденія пара, а поэтому количеству и объемъ насоса могутъ быть опредѣлены слѣдующимъ образомъ. Пусть  $t$  будетъ температура мятаяго пара, вступающаго въ холодильникъ,  $t'$  — температура воды, образующейся послѣ охлажденія пара и  $t_0$  — температура холодной воды, вбрызгиваемой въ холодильникъ. Назовемъ буквою  $x$  число килограммовъ холодной воды, потребной для охлажденія 1 килогр. пара данной температуры  $t$ . Число единицъ теплоты, заключенной въ этой водѣ, будетъ  $x t_0$ , а въ одномъ килограммѣ паровъ (по Ренъюу  $606,5 + 0,305 t$  ед. теплоты, слѣд., въ обоихъ тѣлахъ до ихъ смѣшенія находится  $x t_0 + 606,5 + 0,305 t$  ед. теплоты. Послѣ же смѣшенія получится  $x + 1$  килогр. воды температурой  $t'$ , слѣд., въ смѣси будетъ заключаться  $(x + 1)t'$  ед. теплоты. Эти количества равны между собою, поэтому  $x t_0 + 606,5 + 0,305 t = (x + 1)t'$ , откуда

$$x = \frac{606,5 + 0,305 t}{t' - t_0} - 1.$$

Принимая  $t = 12^\circ$ ,  $t' = 76^\circ$  (для давленія мятаяго пара въ 0,1 атм.) и  $t_0 = 36^\circ$ , получимъ,  $x = 25$  килг., т. е. на каждый килограммъ пара необходимо 25 килограммовъ холодной воды. Если машина вбрызгиваетъ въ холодильникъ въ одинъ оборотъ  $K$  килогр. пара, то количество воды, потребной для его охлажденія, будетъ:

$$P = \frac{K(606,5 + 0,305 t - t')}{t' - t_0} \text{ klg.}$$

Помноживъ вѣсъ  $P$  воды на ея уд. объемъ (объемъ, занимаемый однимъ килг.:  $\tau = \frac{1}{\Delta} = 0,001$  куб. м), получимъ объемъ  $W$  воды, потребной для охлажденія  $K$  килг. пара:  $W = P \tau = 0,001 P$  куб. м. Поэтому объемъ воды могутъ быть опредѣлены размѣры насоса (глава XV). Въ практикѣ объемъ этого насоса принимается равнымъ  $\frac{1}{20}$  объема, описываемаго паровымъ поршнемъ.

1) *вакуумный насосъ* КВ, имѣющій назначеніе удалять изъ холодильника *прорывныя охлажденія* — смѣсь воды, воздуха и пара, не успѣваемаго охладиться. Воздухъ входитъ въ холодильникъ вмѣстѣ съ холодною водою, въ которой его содержится, при обыкновенномъ атм. давленіи, до  $5^\circ$ , по объему. Насосъ называется *воздушнымъ*, потому что воздухъ составляетъ большую часть (по объему)

продуктовъ охлажденія. Воздушные насосы бываютъ *вертикальные, горизонтальные* или *наклонные*. Первые обыкновенно *простаго дѣйствія* (забираютъ воду въ теченіе одного изъ двухъ ходовъ поршня, составляющихъ *двойной размахъ* его) и устанавливаются отдѣльно отъ холодильника (фиг. 278), послѣдніе почти всегда *двойнаго дѣйствія* (забираютъ воду въ теченіе *примаго* и *обратнаго* хода поршня) и помѣщаются внутри холодильника.

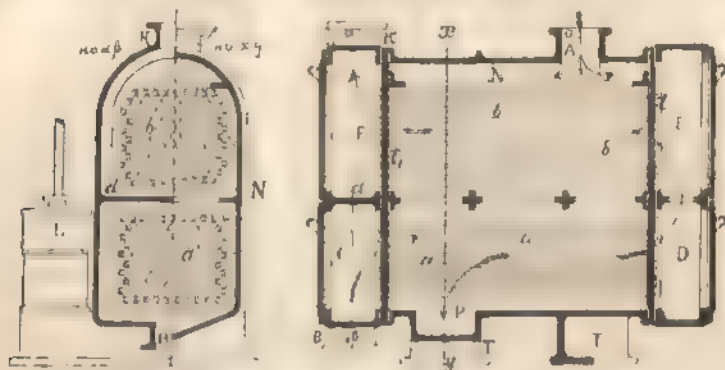
Воздушный насосъ (вертикальный), изображенный на фиг. 278, простаго дѣйствія: онъ выкачиваетъ продукты охлажденія только при движеніи его поршня вверхъ. Насосъ имѣетъ три клапана (*бронзовыхъ*) одинъ изъ нихъ *F* отдѣляетъ насосный цилиндръ отъ холодильника, другой *G* находится въ поршнѣ насоса и третій *H* служитъ для отдѣленія насоснаго цилиндра отъ резервуара *K*, въ которомъ собирается выкачиваемая изъ холодильника вода. При движеніи поршня вверхъ открывается клапанъ *F* и продукты охлажденія переходятъ изъ холодильника въ цилиндръ *E* подъ поршень. При обратномъ размахѣ поршня клапанъ *F* закрывается и продукты, заключающіеся подъ поршнемъ, поднимаютъ клапанъ *G* и переходятъ поверхъ его. При слѣдующемъ восходящемъ размахѣ поршня эти продукты выталкиваются черезъ клапанъ *H* въ резервуаръ *K*, откуда *часть воды отводится прямо*, а часть ея идетъ по особой трубѣ *въ питательный насосъ* для накачивания въ котель. Поршень насоса дѣлается чугунный или бронзовый съ такою же набивкою, насосный стаканъ — чугунный.

Объемъ *воздушнаго насоса* на практикѣ опредѣляется обыкновенно по объему *V* пароваго цилиндра, именно, въ насосахъ простаго дѣйствія онъ дѣлается отъ  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{10}$  *V*, а въ насосахъ *двойнаго дѣйствія* отъ  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{10}$  *V*. Объемъ *холодильника* дѣлается въ два раза болѣе объема воздушнаго насоса.

Что касается работы, расходуемой на движеніе всѣхъ трехъ насосовъ (воздушнаго, питательнаго и холодной воды), то, какъ показываютъ опыты, она составляетъ, приблизительно, отъ  $\frac{1}{10}$  до  $\frac{1}{12}$  *заковой работы машины*; а для одного воздушнаго насоса отъ  $\frac{1}{20}$  до  $\frac{1}{30}$  этой работы.

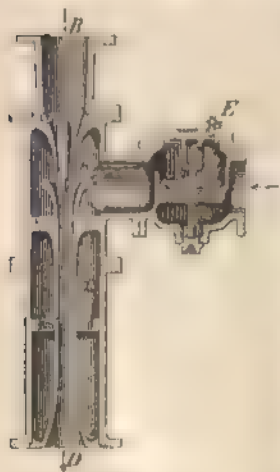
**302 Поверхностные холодильники** (трубчатые), изобрѣенные въ 1836 г. амер. *Голиемъ*, состоятъ изъ тѣхъ же частей какъ и холодильники съ внутреннимъ охлажденіемъ, но въ нихъ холодная вода не смѣшивается съ осажденнымъ паромъ, что особенно важно для морскихъ машинъ, въ которыхъ для охлажденія употребляется морская вода, дающая много осадковъ. Посредствомъ такихъ холодильниковъ явилась возможность питать котель исключительно прѣсною водою, получаемую отъ конденсаціи пара; небольшое количество морской воды (берется изъ холодильника же) требуется лишь для вознагражденія неизбежныхъ протечекъ пара черезъ зазоры

Из трубчатомъ холодильникѣ, представляемомъ на фиг. 279, мятый паръ всасуется по трубѣ А въ холодильникъ N, въ которомъ помѣщена система тонкихъ латунныхъ трубокъ a, b, укрѣпленныхъ концами въ бронзовыхъ стѣнкахъ t, t<sub>1</sub>, ограничи-



Фиг. 279.

вающихъ холодильникъ сверху и снизу. Холодная вода (забираемая насосомъ изъ моря) всасуется въ камеру С, изъ которой по нижней системѣ трубокъ а проходитъ въ камеру D, изъ этой последней поднимается въ отделение I, изъ него за тѣмъ по верхней системѣ трубокъ b и выходитъ по трубѣ К (выбрасывается снова за бортъ). Конденсационная вода собирается въ камерѣ Р, изъ которой откачивается воздушнымъ насосомъ L.



Фиг. 280.

Укрѣпленіе концовъ трубокъ въ трубчатыхъ доскахъ производится слѣдующимъ способомъ. Отверстіе въ доскѣ развѣрляютъ, сваржи, на глубинѣ 15—20 см, на 1—6 см шире діаметра трубокъ и въ полученной выемкѣ дѣлаютъ нарізку; за тѣмъ обматываютъ концы трубки набивкою (пеньковой) и ввинчиваютъ въ выемку латунное кольцо, которое плотно сожметъ набивку. Иногда нарізки не дѣлаютъ въ выемкѣ, а загоняютъ прямо въ нее кольцо изъ мягкаго дерева, которое разбухнувши образуетъ само плотную набивку.

**303. Водоструйный холодильник Кертинга** (фиг. 280) отличающийся чрезвычайной простотой устройства представляетъ въ сущности инжекторъ, въ которомъ вода и паръ мѣняются

ролями. Холодная конденсационная вода вступает въ холодильник по трубѣ В, принимаетъ въ Ь форму полого цилиндра (для лучшей конденсации пара дѣйствіемъ увеличенной поверхности прикосновения) и затѣмъ пройдя дѣловую внутреннюю трубку а, выходитъ изъ холодильника черезъ отверстие Д. Мятый паръ, вступаетъ въ конденсаторъ черезъ клапанъ С (клапанъ этотъ необходимъ для предупрежденія случайнаго прониканія воды въ паровой цилиндръ). Дѣйствие сильной струи воды заключается во всасываніи и охлажденіи мятаяго пара. Конденсационная вода выбрасывается въ общей струѣ воды черезъ отверстие Д. Воздушный кранъ Е служитъ для выпуска воздуха при началѣ дѣйствія прибора. Для образованія достаточнаго вакуума вода вступаетъ въ холодильникъ подъ напоромъ не менѣе 4 м. Если не существуетъ естественнаго напора, то необходимо поставить насосъ холодной воды, который поднималъ бы воду въ особый резервуаръ, расположенный на необходимой высотѣ. Водопроводная труба должна быть, какъ и самъ приборъ, установлена совершенно вертикально, по возможности безъ изгибовъ.

### ЗАДАЧИ.

104. Дано: уголъ опереженія коробчатого золотника  $\beta = 30^\circ$ , наружная перекрышка  $= 0,4г$ , внутренняя перекрышка  $= 0,1г$ , ширина паровпускнаго клапана  $= 0,6г$ , гдѣ  $г$  есть эксцентриситетъ эксцентрика. Определить (вычислить): 1) величину открытія впускнаго и выпускнаго окошекъ при мертвомъ положеніи поршня, 2) какую часть «всего хода» прошелъ поршень: а) когда впускное окно полно открыто, б) когда оно снова начинаетъ закрываться, с) когда проходитъ точка и д) когда начинается выпускъ расширяющагося пара, 3) какую часть хода прошелъ поршень: а) когда выпускное окно полно открыто, б) когда оно снова начинаетъ закрываться, с) когда выпускъ прекращается и д) когда начинается выпускъ контръ пара.

105. Какъ велики должны быть выбѣжныя и впускныя перекрышки (е и i) и уголъ опереженія  $\beta$  простого коробчатого золотника, если линейное опереженіе впуска должно быть  $= 0,1г$ , а линейное опереженіе выпуска  $= 0,4г$  и если степень расширенія  $\varepsilon = \frac{4}{3}$ .

106. Какой путь прошелъ поршень при золотникѣ предыдущей задачи, когда начинается прекращеніе выпуска мятаяго пара?

107. Золотникъ подверженъ давленію пара въ 5 кг. на кв. см. Принимая полную площадь, подверженную давленію, въ 2 кв. дециметра, коэффициентъ тренія  $f = 0,1$ , ходъ золотника 0,1 м. и число оборотовъ главнаго вала  $n = 30$ , определить: 1) усилие, которое необходимо приложить къ штоку золотника, чтобы заставить его двигаться (и принять во вниманіе его весъ) и 2) работу, поглощаемую въ сек. треніемъ золотника о поверхность стода.

108. Определить рааѣтры холодильника Уатта для паровой машины зад. 103.



## ГЛАВА XIII.

### Системы постоянных паровых машинъ.

#### Передвижныя машины.

Системы паровыхъ машинъ. — Историческій очеркъ развитія паровыхъ машинъ. — Ориентальныя однопилдровыя машины — Вертикальныя однопилдровыя машины — Катанье и котловатныя машины — Стреловыя машины — Горизонтальная машина Вульфа. Комбиндъ-ресиверъ машина — Управление и уходъ за паровою машиною. — Паровозы. — Паровый котель, машина и экспансивная часть. Разомъ паровойя машины, сила тяги паровоза, сопротивленіе поезда движению. Паразитныя движенія паровоза. Тяга паровозовъ — Управление и содержаніе паровоза. Лѣзъ-мобили.

Управление локомотивомъ. Подулокомотивы. — Пароходныя машины.

**304. Системы паровыхъ машинъ.** Всѣ паровыя машины могутъ быть, какъ мы видѣли (§ 262), отнесены къ слѣдующимъ двумъ группамъ: 1) *постоянныя машины*, устанавливаемыя на неподвижномъ фундаментѣ и 2) *передвижныя машины* (локомотивы, подомобили, подулокомотивы, пароходныя машины), приспособленныя къ передвиженію съ мѣста на мѣсто.

Постоянныя машины по ихъ конструкции раздѣляются на *однопилдровыя*, *вертикальныя* (*своеныя*), *трехпилдровыя* (*стреловыя*, *тройныя*), *машины Вульфа*, *комбиндъ-ресиверъ машины*, *тройныя комбиндъ-машины*, *качаніяся машины* и, наконецъ, *колесатныя машины* (*вращательныя*).

По способу установки постоянныя машины бываютъ: *вертикальныя*, *горизонтальныя*, *диагональныя*, *стѣнные*, *балансирующія*.

По способу передачи работы онѣ раздѣляются на машины *прямаго дѣйствія* (*спеціальныя*), въ которыхъ штокъ пароваго поршня дѣйствуетъ непосредственно на исполнительный механизмъ (молотъ, насосъ и т. п.) и машины *непрямаго дѣйствія* или съ *передаточою* (*либидею*), которыя всю полезную работу передаютъ главному валу, отъ котораго получаютъ движеніе различныя рабочія машины.

#### I. ПОСТОЯННЫЯ МАШИНЫ.

**305. Краткій историческій очеркъ постепеннаго развитія постоянныхъ паровыхъ машинъ.** Первое описаніе прибора, основаннаго на дѣйствіи пара, было дано Герономъ Александрийскимъ<sup>1)</sup> (за 200 л. до Р. X.), преемникомъ Архимеда и изобрѣтателемъ фонтана и сифона. Приборъ Герона, извѣстный подъ

<sup>1)</sup> Въ наибольшемъ соч. *Spiritualia*, заключающемъ описаніе изобрѣтенныхъ Герономъ автоматовъ и физическихъ игрушекъ.

именем *полетилы* (фиг. 281), состояла из пустотелого шара А, въ который приводился паръ трубою С изъ котла В, играющей роль котла. Паръ, выходя изъ зонта на съ большою скоростью по загнутымъ трубкамъ а и б, приводилъ шаръ А дѣйствіемъ реакціи, во вращательное движеніе около оси СД.

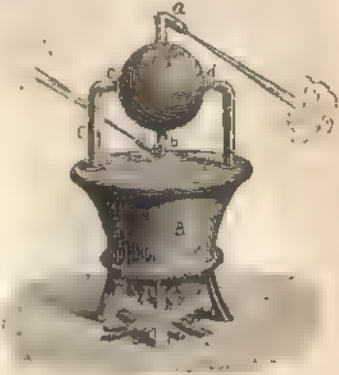
До 17-го столѣтія не замѣчается никакого дальнѣйшаго развитія идеи, данной Герономъ.

Первая поршневая машина была построена фр. физикомъ *Денисомъ Папеномъ* въ 1690 г. Она состояла изъ вертикальнаго цилиндра, открытаго сверху, въ которомъ двигался поршень. Вода наливалась прямо подъ поршень въ цилиндръ, который снизу нагревался. Поднятіе поршня совершалось дѣйствіемъ упругой силы образующагося пара, а опусканіе — давленіемъ атмосферы поверхъ поршня, причемъ подъ поршнемъ производилась пустота черезъ конденсацію пара. Охлажденіе пара производилось пропускомъ воды изъ него подъ цилиндръ. Конечно, что такая машина не могла получить никакого практическаго значенія по причинѣ медленности и неправильности движенія.

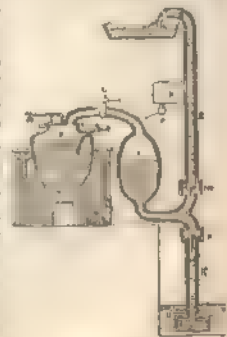
Почти одновременно съ Папеномъ англійскій инженеръ, капитанъ *Томасъ Савери* построилъ въ 1698 г. паровую насосъ (фиг. 282), назначенный для выкачивания воды изъ рудниковъ и полузависъ сразу болѣе важное промышленное значеніе. Паръ изъ котла В идетъ по трубѣ С въ сосудъ D и непосредственнымъ давленіемъ гонитъ воду, заключающуюся въ этомъ сосудѣ, черезъ клапанъ и по вертикальной трубѣ А. Когда сосудъ D опорожняется, прекращающъ впускъ пара, закрывъ край С. Пустивъ затѣмъ въ сосудъ D струю холодной воды изъ сосуда F, производитъ пустоту чрезъ конденсацію пара, вслѣдствіе чего вода давленіемъ атмосферы всасывается по трубѣ К черезъ вскрывающій клапанъ и въ сосудъ S. Такимъ образомъ, подъемъ воды этою машиною достигался попеременною работой двухъ крановъ О и Е. Главный недостатокъ этой машины заключался въ огромной потерѣ теплоты вслѣдствіе нагреванія воды, соприкасавшейся съ паромъ, который уже при входѣ въ сосудъ S частію стучался.

Несмотря на это, машина Савери получила большое значеніе въ промышленности при своемъ появленіи, ибо въ то время замѣна лошадиной силы паровою представляла вопросъ первостепенной важности, потому что для откачки воды въ некоторыхъ рудникахъ требовались цѣлыя табуны лошадей въ нѣсколько сотъ головъ. Но машина Савери, по самой сущности своего устройства, не могла имѣть универсальнаго значенія въ качествѣ пароваго двигателя.

Первую попытку въ этомъ направленіи представляетъ поршневая машина *Ньюкомена* и *Колли*, патентованная въ 1705 г. Она состояла изъ деревяннаго коромысла (фиг. 283), къ концамъ котораго, помощью цѣпей, съ одной стороны подвѣшивалась насосная плита съ противовѣсомъ F, а съ другой — поршень цилиндричнаго пароваго цилиндра В, открытаго сверху. Паръ изъ полушарическаго котла А приводился подъ поршень трубою а,

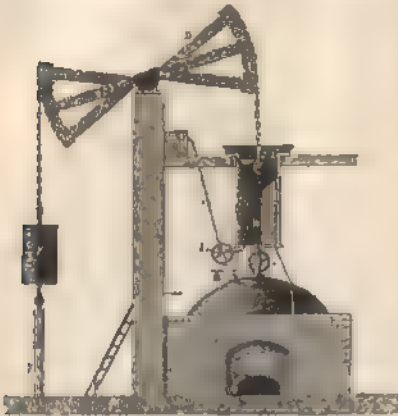


Фиг. 281.



Фиг. 282

снабженною краномъ. Охлаждение пара въ цилиндрѣ совершалось по способу Савери, вбрызгиваніемъ холодной воды изъ резервуара G черезъ кранъ b. Вслѣдствие образовавшейся пустоты, поршень изъ верхняго положенія, представленнаго на чертежѣ, опускался подъ давленіемъ атмосферы, поэтому машина Ньюкомена получила названіе *атмосферической паровой машины*. Закрывъ затѣмъ кранъ b и открывъ кранъ a, выпускали паръ изъ котла подъ поршень. Хотя упругость пара въ котлѣ была больше атмосферы (около  $1\frac{1}{4}$  атм.), но давленіе пара въ цилиндрѣ было почти равно атмосферному, по причинѣ пониженія температуры пара, вступающаго въ охлажденный передъ тѣмъ цилиндръ.



Фиг. 283.

Поршень поднимался дѣйствіемъ протнвовѣса F при уравновѣшенномъ давленіи на поршень. Главный недостатокъ этой машины заключался, какъ и въ машинѣ Савери, въ безполезной потерѣ теплоты на нагреваніе стѣнокъ цилиндра.

Почти все наиболѣе существенныя изобрѣтенія и усовершенствованія въ паровой машинѣ были сдѣланы знаменитымъ *Джемсомъ Уаттомъ*<sup>1)</sup>, который по справедливости считается творцомъ паровой машины современнаго типа.

Въ его патентѣ 1769 г. значатся слѣдующія патентованныя изобрѣтенія: 1) примѣненіе отдѣльнаго холодильника взамѣстъ конденсатора пара въ самомъ цилиндрѣ, съ цѣлью устраненія охлажденія котельнаго; 2) введеніе дилліра двойнаго дѣйствія, т. е. превращеніе атмосферической машины въ паровую; 3) устройство паровой рубашки и кожуха; 4) введеніе сальниковъ; 5) примѣненіе расширенія пара, которое было введено имъ, однако, лишь въ 1782 г.

Къ позднѣйшимъ изобрѣтеніямъ Уатта принадлежатъ: а) примѣненіе махового колеса и центробѣжнаго регулятора, прилагавшееся паровой машинѣ универсальное значеніе; б) введеніе пара-предѣлительнаго золотника для машинъ небольшой силы; въ большихъ машинахъ съ маховымъ расширеніемъ пара совершалось четыремъ коническими клапанами при помощи

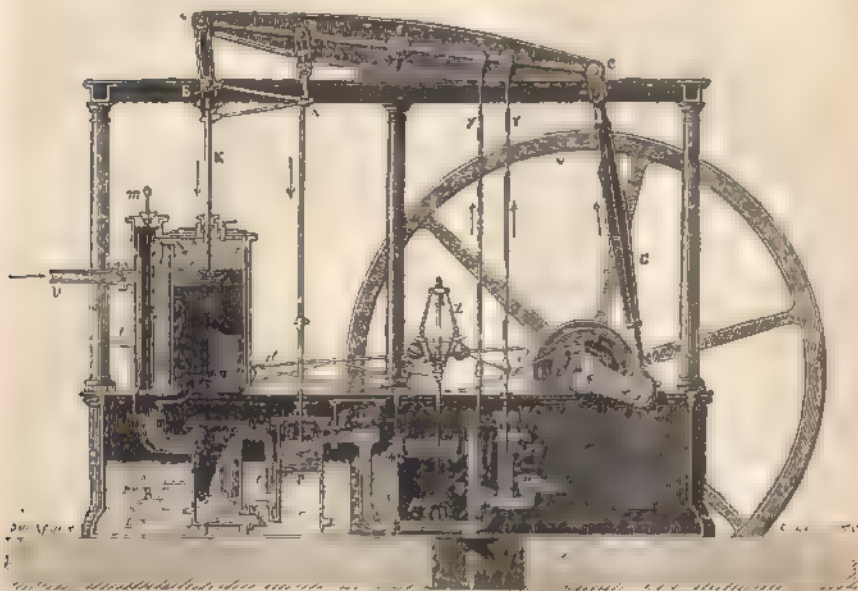
<sup>1)</sup> *Джемсъ Уаттъ*, величайшій изъ изобрѣтателей всего міра, родился въ 1736 г. въ *Гринокѣ* (въ Шотландіи), умеръ въ 1819 г. Получивъ лишь начальное образованіе Уаттъ поступилъ простымъ рабочимъ (въ 1757 г.) въ небольшую (мало механическую мастерскую въ *Гринокѣ*, откуда черезъ 11 года перешелъ въ *Лидонъ*, гдѣ работалъ конструкторомъ морскихъ инструментовъ. Былъ онъ настолько одаренъ, что скоро вернулся на родину, о гдѣ поселился въ Глазго, гдѣ былъ приглашенъ въ университетъ въ качествѣ конструктора физическихъ приборовъ (1763 г.). Получивъ отъ профессора физики *Андерсона* для исправленія модели машины Ньюкомена, Уаттъ обратилъ вниманіе на ея существенныя недостатки: потерю теплоты вследствие охлажденія стѣнокъ цилиндра и несовершенную конденсацію пара, вслѣдствіе нагреванія охлаждающей воды. Стремленіе устранить эти недостатки привело его къ устройству отдѣльнаго холодильника (1765 г.) и въ другимъ изобрѣтеніямъ, означеннымъ въ патентѣ 1769 г., осуществленія котораго Уаттъ достигъ благодаря матеріальной поддержкѣ вѣзнаго въ то время бирингемскаго заводчика *Болтона*.

рычажного привода, получающего движение от стержня вводящего насоса; с) введение параллелограмма (1784 г.); д) введение автоматического регулирования хода машины поворотным клапаномъ.

Вследствие недостатковъ состоянія техники котельнаго дѣла, Уаттъ строитъ исключительно машины *низкаго* давления (съ коромыслами) съ незначительнымъ расширеніемъ. Введение пара средняго давления и примѣненіе значительнаго расширенія его въ двухъ цилиндрахъ принадлежитъ Вульффу (1804 г.), который сдѣлалъ котлы Уатта, имѣвшие поробчатую форму, болѣе прочными цилиндрическими котлами.

Первое примѣненіе автоматическаго регулированія отсѣвкою пара при переменномъ сопротивленіи принадлежитъ *Миллеру* (1838 г.). Вслѣдствіе эа система была примѣнена *Фарко* (1838 г.), *Масеромъ* (1842 г.), *Корлисомъ* (1848 г.), *Зульгеромъ* и *Кольманомъ* въ изобрѣтенныхъ ими парораспределительныхъ приборахъ.

На фиг. 284 изображена въ вертикальномъ разрѣзѣ *балансирная ма-*



Фиг. 284.

шина Уатта низкаго давления безъ отсѣвки, но съ охлажденіемъ, представляющая въ настоящее время лишь историческій интересъ.

Паръ изъ котла проводится трубкою *γ* въ распределительную коробку *T*, въ которой (сдѣланы) вверхъ и внизъ *цилиндричныя* (пустотѣлыя) *золотники*, приводимый въ движеніе крутящимъ эксцентрикомъ при помощи ломаннаго рычага содеряннаго однимъ концомъ со штокѣмъ золотника, а другимъ— съ тѣмъ эксцентрикомъ. Золотники имѣютъ видъ трубки, плотно прикасающейся разпиренными концами своими къ стѣнкамъ цилиндрической золотниковой коробки. Внутренній каналъ золотника постоянно сообщенъ съ ходовымъ каналомъ и служитъ для выпуска пара изъ верхней части ци-

линдра Рабочий парь, окружаая постоянно золотникъ, производитъ на него давленія, которые взаимноуравновѣшиваются: золотникъ скользитъ почти безъ тренія. Существенный недостатокъ этого золотника заключается въ томъ, что, будучи постоянно сообщенъ съ холодильникомъ, онъ служитъ причиною охлажденія пара, наполняющаго распределительную коробку. При положеніи золотника, представленномъ на чертежѣ, рабочий парь входитъ въ верхнюю часть парового цилиндра и движетъ поршень I внизъ, причемъ мягкий парь изъ нижней части цилиндра поступаетъ по короткой соединительной трубѣ въ холодильникъ II. Когда поршень дойдетъ до нижней мертвой точки, золотникъ передвинется въ свое нижнее положеніе и сообщитъ нижней части цилиндра съ распределительною коробкою, а верхнюю съ холодильникомъ, поршень начинаетъ обратное движеніе къ верхней мертвой точкѣ. Штокъ поршня пропущенъ черезъ салники, сдѣланный въ верхней крышкѣ цилиндра. Прямострѣльное качательное движеніе поршня преобразуется при посредствѣ параллелограмма ABCD, коромысла CC', шатуна B и мотыля M, въ круговое непрерывное движеніе главнаго вала, на которомъ посажены маховикъ, безконечный ремень с передаетъ вращеніе, при посредствѣ пары коническихъ колесъ р и тъ главному валу веретину регулятора Z, муфта которой соединена при помощи системы рычаговъ съ поворотнымъ краномъ, уставленнымъ близу золотниковой коробки въ паропроводной трубѣ v. Холодильникъ II помещенъ внутри баки, наполненной водою, которая накаливается въ него *малою водою* *теплою водою* U. E, есть *воздушный насосъ*, выкачивающій продукты охлажденія въ небольшой резервуаръ K, откуда теплая вода выбрасывается *питательнымъ насосомъ* W, вгоняющимъ ее въ паровой котелъ. Поршень P в *водномъ насосѣ* получаетъ движеніе отъ гнѣ А, соединенной съ параллелограммомъ, а *высвѣтъ насосовъ* питательнаго и холодной воды — отъ тягъ х, у, непосредственно къ коромыслу.

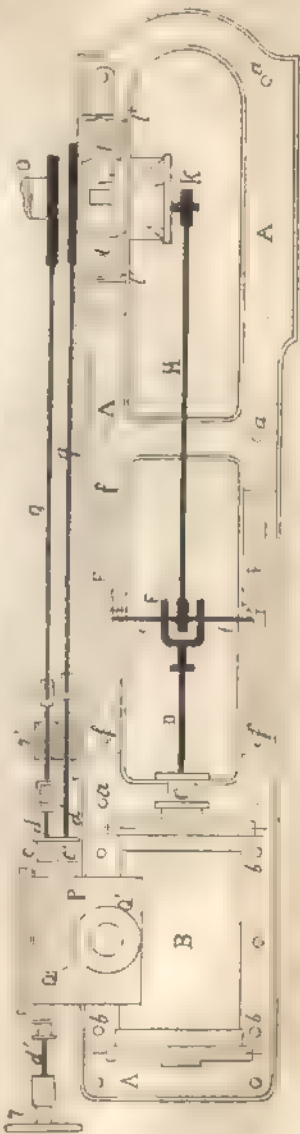
**306 Горизонтальныя одноцилиндровыя машины.** Это самая распространенная система. Существенный недостатокъ ея состоитъ въ неравномерномъ истирании пароваго цилиндра, наибольшее изнашиваніе приходится на нижнюю часть, вліяніемъ вѣса поршня, поэтому въ большихъ машинахъ для устранения этого недостатка пропускаютъ поршневой штокъ (D, фиг. 298) черезъ два салника, сдѣланные въ обѣихъ крышкахъ цилиндра, при чемъ холодной конецъ штока долженъ быть закрытъ футляромъ (U—мѣшная трубка). Что касается *устройства станины*, то различаютъ станины *двухбалочной* (фиг. 285) и *однбалочной* (*штыковой, американской или Корлисса*, фиг. 287 и 288) системы.

На фиг. 285 представлена (въ планѣ) горизонтальная одноцилиндровая паровая машина безъ охлажденія съ *мейсовскимъ* золотникомъ и *двухбалочной* станиною. A есть *двухбалочная станина* U образной формы, укрѣпленная на фундаментѣ посредствомъ длинныхъ фундаментныхъ болтовъ a. B—паровой цилиндръ, привинченный къ рамѣ A болтами b; C—салникъ пароваго цилиндра, c—салникъ расширительныхъ пластинокъ Мейера, c'—салникъ распределительныхъ золотниковъ, D—штокъ пароваго поршня, d—штокъ расширительныхъ пластинокъ, d'—распределительнаго золотника, E—крѣпленіе или крестовина, e—перечина крѣпленія, несущая на концахъ своихъ ползуны, F—чужинныя параллели, привин-



ченныя къ станинѣ болтами  $f, f'$  — *чугунные же ползунъ*,  $H$  — *машина*;  $K$  — *кривошипъ*, заклиненный на концѣ главнаго вала  $O$  машины, несущаго маховикъ.  $L$  — *подшипникъ главнаго вала*, укрѣпленный на станинѣ посредствомъ болтовъ  $l$  и клиньевъ  $l'$ .  $P$  — *распределительная коробка*.  $Q$  — *паропроводная труба*;  $Q'$  — *паропроводная (для мятаяго пара) труба*.  $q, q'$  — *тяги расширительнаго и распределительнаго золотниковъ Мейера*;  $г$  — *маховичекъ для ручной установки отсѣчки*;  $г'$  — *стойла*, привинченная къ станинѣ и служащая для укрѣпленія оси регулятора, а также для направленія золотниковыхъ штоковъ.

307. На фиг. 286 изображена (въ боковомъ видѣ) *горизонтальная одноклинная паровая машина съ холодильникомъ и штиблочной станиною*. (Сверху указаны на предыдущемъ чертежѣ главные частей, обозначенныя на 287 фиг. тѣми же буквами, здѣсь видны еще слѣдующи *кранцыонфы*  $E$  съ однимъ нижнимъ *ползункомъ*  $E'$ , скользящимъ по *одиночной параллели*  $F$ , *маховикъ*  $M$ , *створный клинъ*  $G$ , *вспомогательный паропроводной трубой*  $Q$  и служащій для управленія притокомъ сѣваго пара: *регуляторъ Нортера*  $R$ , *питательный (для котла разсматриваемой машины) насосъ*  $S$  со всасывающею трубою  $s_0$ , *клапанною коробкою*  $s_1$ ; *насосъ* этотъ, какъ видно изъ чертежа, привинченъ къ главной рамѣ машины и получаетъ движеніе отъ маленькаго кривошипа  $k'$ , короткая ось кого установлена въ подшипникѣ  $L_1$  и соединена при помощи контръ-кривошипа  $K_1$  съ удлиненною штоквою шейкою  $K$ , замѣняющей главнѣй кривошипъ. Холодильникъ  $X$  укрѣпленъ къ рамѣ  $A_1$ , установленной на особомъ фундаментѣ  $A_0$ . Мятый паръ поступаетъ въ него трубою  $Q'$ . Штокъ  $D'$  воздушнаго насоса ( $w$  — его сальникъ) служитъ продолженіемъ штока  $D$  пароваго поршня; продукты охлажденія уда-



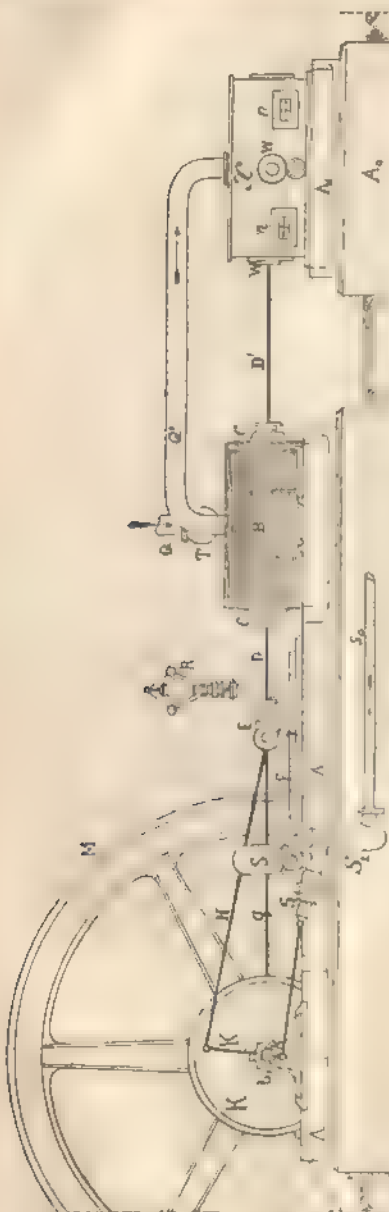
Фиг. 286.



ляются из холодильника грубою ш.

п.д.—суть окна, герметически закрыты крышками и служащая для осмотра клапанов воздушного насоса и очистки холодильника от осадков.

308. Фиг. 287 представляет одноцилиндровую паровую машину с холодильником и одноблочной станиной (Корлисса). Паровой цилиндр В и холодильник укрываются на общей фундаментной раме  $A_0$ . Передняя крышка В' цилиндра, параллели F и подшипники  $LL_0$  отлиты заодно, в виде пустотелой балки AA, напоминающей свою форму штык (отсюда название штыкован или баюнетная балка). В плант подобная балка видна на фиг. 298. Часть GA этой балки имеет цилиндрическую форму (фиг. 83), тщательно разшерливается и служит параллелями для выпуклых ползунов  $f'$  крестовины E. Подобная форма ставны и на параллели, изображенная Корлиссо, благодаря своей компактности и легкости обработки (§ 71), получила преобладающее распространение. Псевдостатический регулятор (по системе Портера) R регулирует торможением пара, действуя при помощи рычага г на створный клапан Т (уравновешенный—система Зульцера, фиг. 269). Наконец, на чертеж видны: маслянка m для параллелей и продувательные краны t.

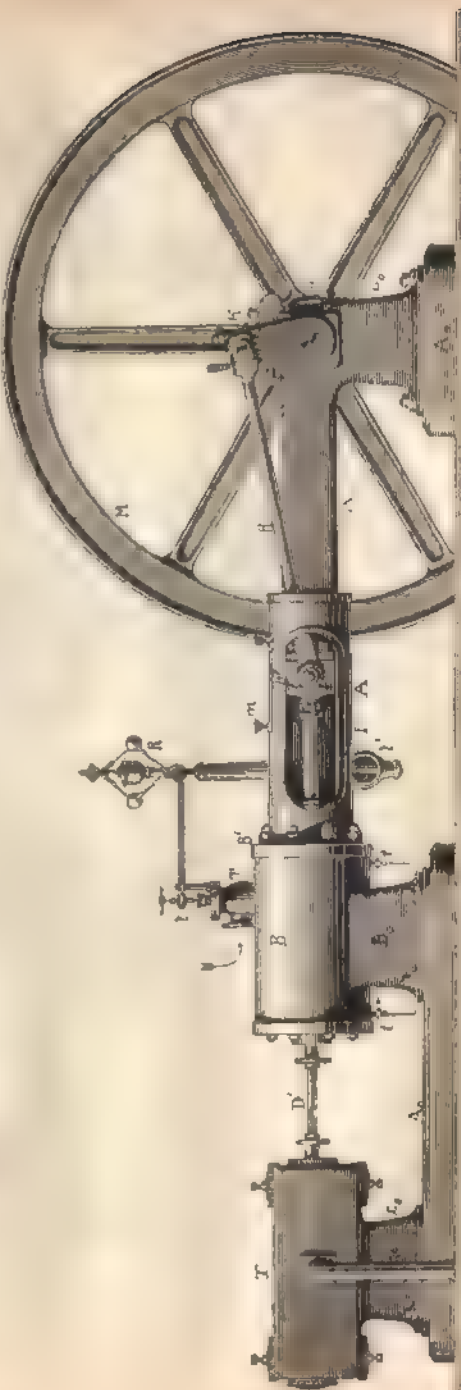


Фиг. 286.

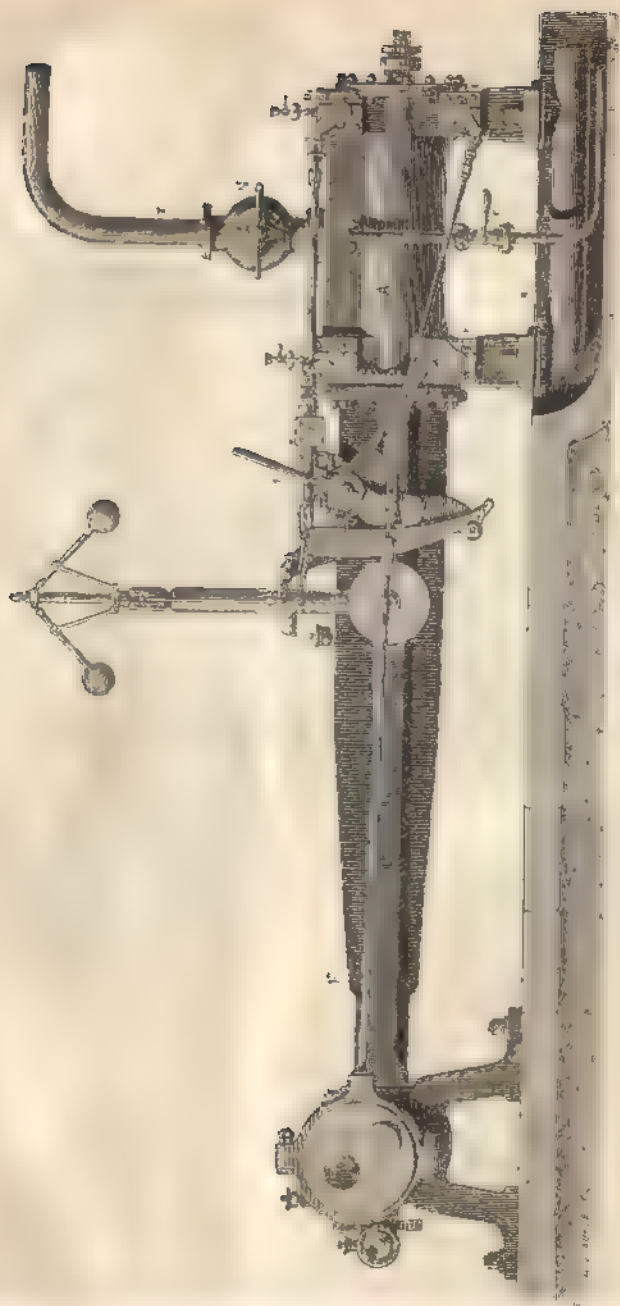
309 На фиг. 288 изображена машина Корлисса (§ 292) без

холодильника и съ однобалочной станиною. Паровой цилиндръ А отлитъ заодно съ паровою рубашкою и сѣдлами распределительныхъ крановъ. Паръ приводится трубою Т, снабженною створнымъ клапаномъ N, въ резервуаръ R, расположенный въ верхней части цилиндра, съ которымъ онъ отлитъ заодно; D, D<sub>1</sub> суть паровпуск. края; E, E<sub>1</sub> — паровыпускные. Кранъ г назначенъ для продувки цилиндра и рубашки, а рычагъ L служитъ для распределенія пара отъ руки въ моментъ пуска мах. въ ходъ. Наконецъ k, k есть чугуи. станина однобалочной системы.

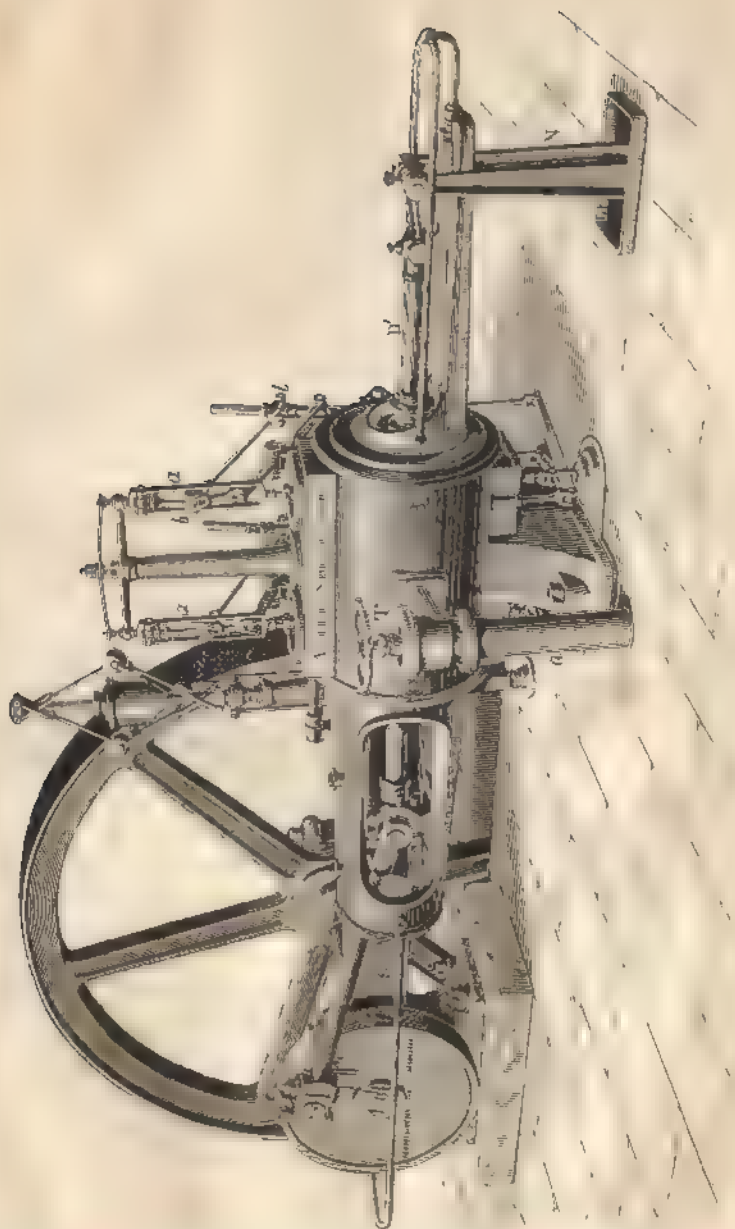
310. На фиг. 289 представлена горизонтальная машина съ распределительнымъ механизмомъ. Кольмана старой конструкции, все отличие которой отъ изображенной на фиг. 271 состоитъ въ томъ, что шарнирный колычатый рычагъ b дѣйствуетъ на стержень паровпускнаго клапана не при помощи контръ-рычаговъ it и gh (фиг. 271), а непосредственно поднимаетъ рамку a, ведущую клапанъ. Разсматриваем. машина имѣетъ станину однобалочной системы и снабжена холодильникомъ, установленнымъ подъ поломъ (какъ на фиг. 297). Движеніе воздушному насосу пере-



фиг 287.



Фиг. 222.

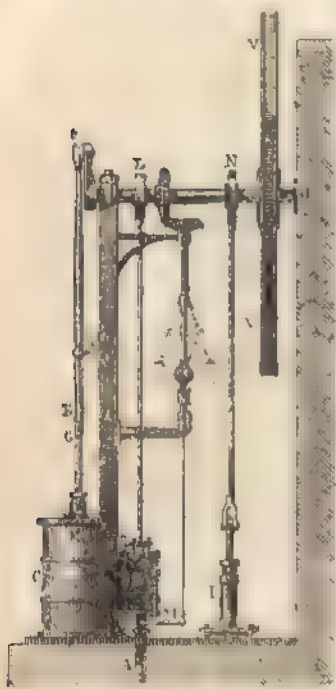


Фиг. 283.

дается от парового поршня при помощи продолженного штока его  $D'$  и рычага  $N$ . Из котла парь приводится к машинѣ трубою  $Q$ , въ которой установленъ створный клапанъ  $T$ , снабженный ручнымъ маховичкомъ. Наконецъ, въ разсматриваемой машинѣ кривошипъ имѣетъ видъ сплошного, хорошо центрированного диска (маленького маховичка), съ цѣлю обезпечить машинѣ болѣе равномерный ходъ.

**311. Вертикальныя одноцилиндровыя машины.** По своей конструкціи онѣ раздѣляются на машины безъ коромысла и машины съ коромысломъ.

На фиг. 290 изображена въ бѣловомъ видѣ вертикальная ма-



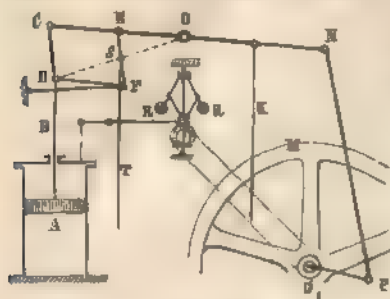
Фиг. 290

шины первой системы безъ коромысли. Паровой цилиндръ  $C$  приклинченъ болтами къ фундаментной точкѣ  $B$ , отлитой за одно съ вертикальной трубачею станиною  $II$ , несущую вверху подшипники для главнаго вала машины, второй подшипникъ  $O$  этого вала установленъ въ стѣнѣ. Для направленія движенія пароваго штока служатъ два ползуна  $G$ , имѣющіе видъ втулокъ, скользящихъ вдоль колонокъ  $GH$ , привинченныхъ къ верхней крышѣ цилиндра. Распределение пара производится обыкновеннымъ коромысломъ золотникомъ, для движенія котораго на главномъ валу посаженъ эксцентрикъ  $L$ . Въ золотниковую коробку  $Z$  парь вступаетъ по трубѣ  $A$ . Регулирование хода машины производится регуляторомъ Уатта, управляющимъ поворотнымъ клапаномъ  $M$ . Рядомъ съ маховикомъ  $V$  на главномъ валу установленъ второй эксцентрикъ  $N$ , приводящій въ движеніе питательный насосъ  $P$  для паровъ котла разсматриваем. машины.

Вертикальныя машины безъ коромысла были впервые построены извѣстнымъ англ. заводчикомъ *Ферберномъ*. Онѣ представляютъ то достоинство, что занимаютъ мало мѣста (въ планѣ), но отличаются малою устойчивостью, вследствие расположенія вала съ маховикомъ выше цилиндра, а также трудностью установки и осмотра; поэтому вертикальныя машины безъ коромысла строятся только небольшой силы (отъ 5 до 25 п. л.).

На фиг. 291, представлена схема одноцилиндровой машины съ коромысломъ. Штокъ  $B$  поршня вертикальнаго цилиндра  $A$  сочле-

ненъ при помощи параллелограмма Уатта CDEF, съ концемъ С коромысла CN, другой конецъ котораго N соединенъ съ кривошипомъ PO, при помощи шатуна NP. Прямолинейное качательное движение поршня преобразуется сначала въ круговое качательное



Фиг. 291

движение коромысла, которое въ свою очередь преобразуется въ круговое непрерывное движение главнаго вала  $O_1$ , несущаго на себѣ маховикъ М. Движеніе золотнику сообщается отъ главнаго вала при помощи эксцентрика, тяга котораго соединена со стержнемъ золотника системою козъничатыхъ рычаговъ. Регулированіе хода машины производится поворотнымъ клапаномъ (двистнемъ) регулятора Уатта R, получающаго движеніе

отъ главнаго вала при помощи ременной передачи. Поршень воздушнаго насоса получаетъ движеніе отъ коромысла при помощи тяги Т, подвѣшенной къ серединѣ S сепаріи EF параллелограмма, а поршень насоса холодной воды при помощи тяги К, подвѣшенной непосредственно къ коромыслу.

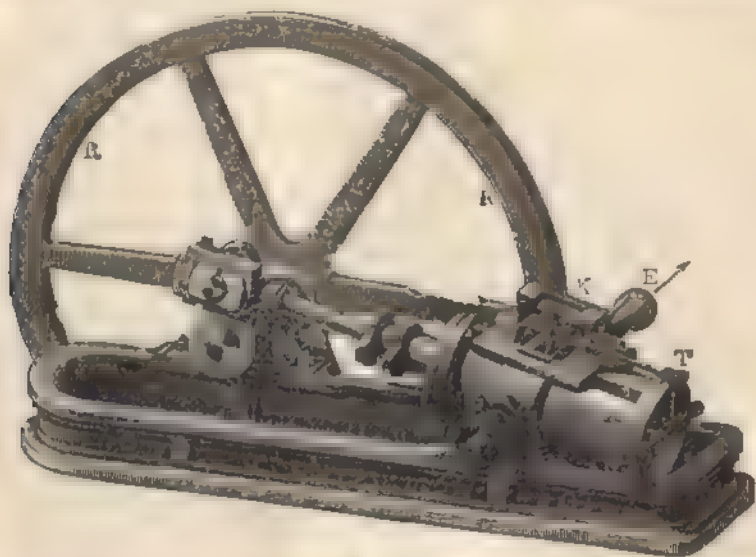
Система машинъ съ коромысломъ представляетъ преимущество, заключающееся въ простотѣ передачи движенія произвольному числу штокѣвъ, но по причинѣ сравнительной *длительности, малое числа оборотовъ*, какое допускаетъ употребленіе тяжелаго балансира, какъ главнаго элемента передачи, а также вследствие того, что машины съ коромысломъ требуютъ *много мыла какъ по горизонтальному, такъ и по вертикальному направленіямъ*, система эта въ настоящее время все болѣе и болѣе выходитъ изъ употребленія.

**312. Качающіяся машины.** Качающіяся паровыя машины принадлежать къ числу машинъ съ *сокращенною передаточною*, онѣ не имѣютъ *шатуна* и устраниваются съ цѣлью сокращенія длины горизонтальныхъ и высоты вертикальныхъ машинъ.

На фиг. 292 представленъ общій видъ *заводской качающейся машины Альбана*. Основаніемъ ея служитъ чугунная рама GG. Паровой цилиндръ А качается около двухъ цапфъ, которыми онъ опирается на подшипники ВВ, укрепленные къ рамѣ G. Цапфы внутри пустыя и сообщены (при помощи сальниковъ S) съ трубами D и E, не участвующими въ движеніи цилиндра. Труба D ведетъ паръ изъ котла въ золотниковую коробку К, изъ которой паръ каналомъ а вытекаетъ въ правую часть цилиндра, а каналомъ а'—въ лѣвую; мятый паръ выходитъ изъ средняго капала трубою Е въ атмосферу. Штокъ О поршня сочлененъ непосредственно



съ кривошиномъ Р. Качательное движеніе цилиндра преобразовывается въ прямолинейное качательное движеніе золотника L при помощи рычажнаго механизма TWUM, ось котораго W установлена въ подшипникахъ, прикрѣпленныхъ къ двѣ цилиндра. Штокъ золотника соединенъ съ концемъ рычага Т, закрѣпленнаго на оси W; на концѣ той же оси посаженъ рычагъ U, который въ свою очередь соединенъ съ тягой UM, укрѣпленною къ неподвижной оси М. При качаніи цилиндра около оси DE, вмѣстѣ съ нимъ поднимается и опускается и валъ W, а при этомъ колено UM то выпрямляется, то сгибается, вследствие чего ось W поворачивается на



Фиг. 292.

нѣкоторый уголъ то въ ту, то въ другую сторону: это колебательное движеніе вала W передается золотнику при помощи рычага Т.

Главные недостатки этихъ машинъ заключаются въ нагреваніи цапфъ цилиндра, способствующемъ скорому ихъ изнашиванію, а также въ остромъ изнашиваніи поршневыхъ сальниковъ, такъ какъ при ихъ посредствѣ вся масса цилиндра перебрасывается то въ ту, то въ другую сторону. Какъ постоянныя машины, онѣ строятся довольно рѣдко, но весьма употребительны какъ пароводныя машины (для колесныхъ рѣчныхъ и морскихъ пароходовъ).

**313. Коловратныя машины.** Существенное отличіе *коловратныхъ* (вращательныхъ) машинъ отъ обыкновенныхъ заключается въ томъ, что поршень ихъ имѣетъ не прямолинейное качательное, а вращательное движеніе, которое передается непосредственно валу

маховика, безъ помощи балансира, шатуна и мотыля. Машины этой системы, изобрѣтенныя Уаттомъ въ 1782 г., отличаются простотою конструкции, уютною, устойчивою и вмѣстѣ съ тѣмъ требуютъ незначительнаго ремонта и ухода. Онѣ применяются главнымъ образомъ для сообщенія движенія рабочимъ машинамъ, имѣющимъ вращательное движеніе и дѣлающимъ большое число оборотовъ, напр., центробѣжнымъ насосамъ, вентиляторамъ, динамо-машинамъ и т. п.

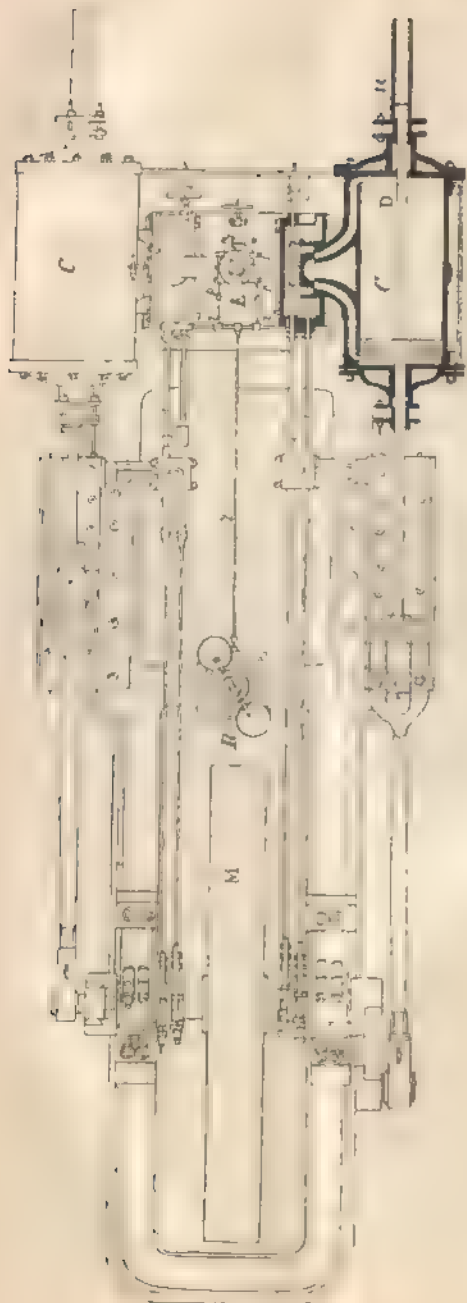
Наиболѣе распространенная вращательная машина америк. инженера *Беренса*, появившаяся впервые на парижской выставкѣ 1867 г., состоитъ изъ двухъ неполныхъ цилиндровъ А и А' (фиг. 293), однихъ заодно и тщательно расточенныхъ. Внутри этихъ цилиндровъ проходятъ двѣ параллельныя оси С и С', къ которымъ укрѣплены кулаки Е и Е', играющіе роль вращающихся поршней. Параллельныя части этихъ цилиндровъ имѣютъ по тригуба на каждомъ цилиндрѣ А и А' и двѣ на каждой изъ осей С и С'.



Фиг. 293.

внутри которыхъ вращаются вали С и С'. Въ цилиндрахъ оси С и С' несутъ на себѣ два зубчатыхъ колеса, находящіеся въ постоянномъ зацепленіи.

Для уясненія дѣйствія пара рассмотримъ 3 послѣдовательныя положенія поршней, представленныя на фиг. 293. Въ положеніи 1 паръ по трубѣ В вступаетъ въ пространство, заключенное между поршнями Е и Е' и втулкою с. Поршень Е' уравновѣшенъ, ибо давленія на обѣ его лунки одинаковы, но давленіе на верхнюю лунку поршня Е больше, нежели на нижнюю, такъ какъ пространство *a* сообщено съ холодильникомъ. Вслѣдствіе этого поршень Е начнетъ вращаться слѣва направо (по стрѣлкѣ) и сообщитъ поршню Е', при помощи упомянутыхъ выше зубчатыхъ колесъ, вращеніе въ обратную сторону. Въ положеніи 2 поршень Е продолжаетъ вести поршень Е', давленія на лунки которого одинаковы и равны давленію въ холодильникъ, съ которымъ сообщено пространство *a*. Это продолжается въ теченіе половины оборота машины, пока поршень Е не займетъ положенія 3. Съ этого момента роли поршней мѣняются. Е' начинаетъ вести поршень Е, давленія на лунки которого уравновѣшены, но вращеніе продолжается въ ту же сторону. Такимъ



Фиг. 294.

образомъ, въ этой машинѣ нѣтъ ни расширенія <sup>1)</sup>, ни сжатія пара. На концѣ одной изъ осей насаженъ шкивъ, отъ котораго вращеніе передается рабочимъ машинамъ.

Не смотря на замѣчательную простоту передачи, машины эти мало распространены въ практикѣ, по причинѣ трудности пригонки поршней и неустраняемыхъ протечекъ пара между валомъ и крышками цилиндровъ.

**314. Сдвоенныя и строен. машины.** *Сдвоенными* наз. такія паровыя машины, которыя имѣютъ два одинаковой величины цилиндра (C, C' фиг. 294), питающіеся каждый, независимо отъ другаго, свѣжимъ паромъ изъ котла. Такого рода машины устраиваются или съ цѣлью достиженія возможно болѣе *равномернаго хода*, применяя *кратныя кривошипы* (расположенные одинъ къ другому подъ угломъ 90°), при чемъ устраняются совершенно *мертвыя точки* машины, или съ цѣлью устраненія *маховика*, присутствіе котораго въ некоторыхъ рабочихъ машинахъ, напр., въ *прокатныхъ станкахъ* съ *перемѣннымъ враще-*

<sup>1)</sup> Расширеніе пара можетъ быть, впрочемъ, легко достигнуто при помощи клапана, установленнаго надлежащимъ образомъ.

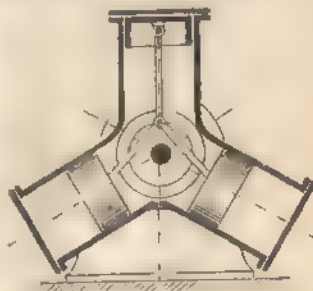
немъ въ ту и другую сторону (*реверсивной системы*), представляет большое неудобство. Преодоленіе всѣхъ сопротивленій въ этомъ случаѣ совершается силою пара безъ содѣйствія живой силы машины. Каждый цилиндръ расчитывается на половинное число  $\left( \frac{N}{2} \right)$  паровыхъ лошадей полезной работы.

Фиг. 294 представляетъ въ планѣ *двоенную* паровую машину съ общими маховикомъ М и регуляторомъ Р. Оба цилиндра С, С' снабжены мейеровскими золотниками; паръ изъ котла поступаетъ по трубѣ К, въ которой установлены *створный клапанъ* Т и два *поворотныхъ клапана* р, р', на которые дѣйствуетъ регуляторъ при помощи тяги г и рычажковъ г'.

*Двоенныя машины реверсивной системы* (безъ маховика) имѣютъ примѣненіе при *передвижныхъ машинахъ* съ обратнымъ ходомъ, *локомотивахъ* и *паровыхъ машинахъ*, и при *постоянныхъ ручныхъ* (для доцѣлы изъ шахтъ руды и угля), *паровыхъ кранахъ*, *паровыхъ воротахъ* и *прокатныхъ реверсивныхъ станкахъ*.

Изъ *стрелковыхъ машинъ* наибольшее распространеніе (при паровыхъ кранахъ, воротахъ *шпихомашинахъ*) имѣетъ машина *Бротеруда*, въ которой цилиндры расположены одинъ въ другомъ подъ угломъ въ 120° (фиг. 295), а штокъ поршня соединенъ съ общимъ кривошипомъ безъ посредства шатуновъ; съ самимъ же поршнемъ штокъ соединенъ при помощи шарнировъ. Распределение пара производится посредствомъ дискового золотника, который легко можетъ быть переставленъ на обратный ходъ простымъ поворачиваніемъ его на нѣкоторый уголъ.

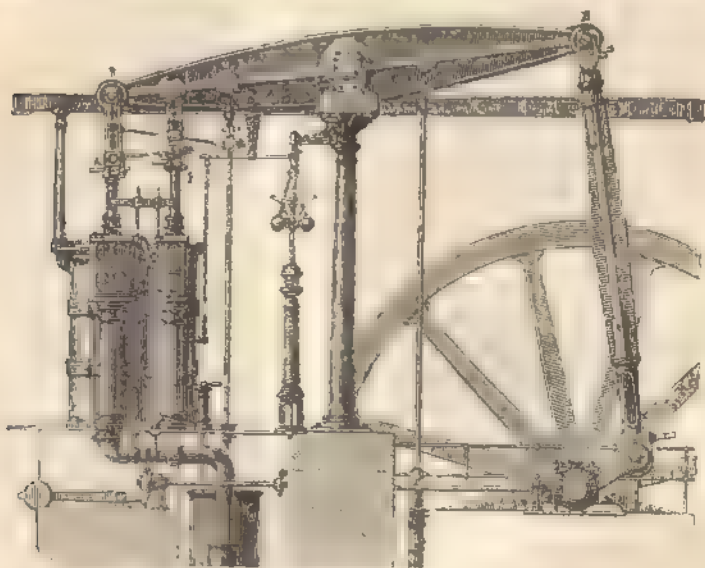
Машина *Бротеруда* принадлежитъ къ числу *скороточныхъ* м., нормальное число оборотовъ коихъ отъ 350—400 въ мин. и можетъ достигать до 1200. Въ обыкновенныхъ машинахъ, въ видахъ продолжительности службы ихъ, число оборотовъ не должно быть болѣе 200—300 въ мин. при большемъ числѣ оборотовъ части машины скоро расхлябаются, по причинѣ непрерывныхъ толчковъ въ соединенияхъ (головкахъ шатуна, подшипникахъ), проходящихъ вслѣдствіе *цаметрально противоположныхъ давленій*, проявляющихся въ теченіе одного оборота кривошипа, машина требуетъ частаго ремонта, какъ напр. *локомотивныя машины*, вращающія 100—150 оборотовъ въ мин. Для избѣжанія *перемѣжныхъ (цаметрально противоположныхъ) давленій* въ шарнирахъ въ *стрелковой машинѣ*



Фиг. 295.

Бротергуда все цилиндры *простого действия*, т. е. свежий паръ выпускается только съ одной стороны.

**315. Вертикальная машина Вульфа** (фиг. 296) Оба цилиндра имѣютъ отдѣльные золотники, стержни концы соединены общою поперечною, получающею движение отъ эксцентрика при посредствѣ промежуточной системы рычаговъ. Регуляторъ управляетъ поворотнымъ клапаномъ. Штокъ поршня большого цилиндра сочлененъ съ вершиною *A* параллелограмма, а штоки поршней малого цилиндра и воздушнаго насоса подвѣшены въ точкахъ *A'* и *A''* лини *AO*, соединяющей вершину *A* съ центромъ вращения коро-



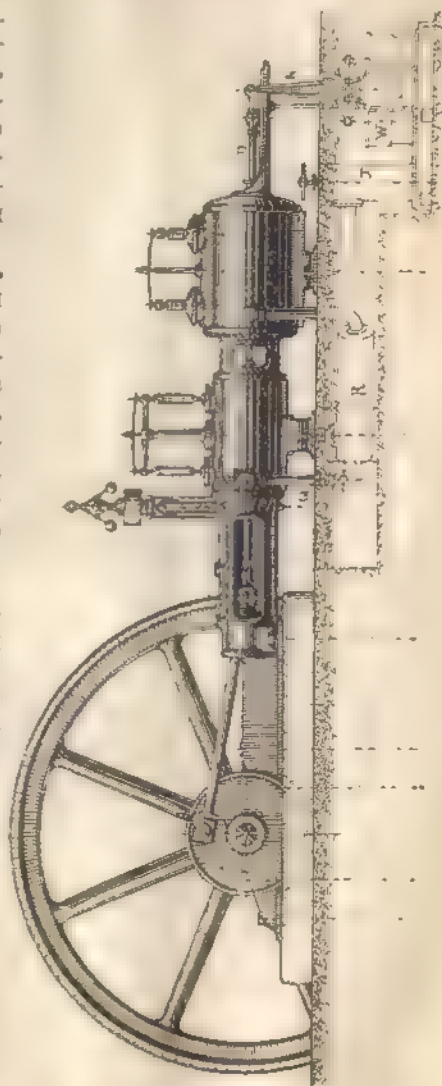
Фиг. 296.

мысла Эти точки, какъ извѣстно, имѣютъ, подобно вершинѣ *A*, почти строго вертикальное движение.

**316. Горизонтальная машина Вульфа** (фиг. 297). Цилиндры расположены одинъ за другимъ, штокъ общій. Малый цилиндръ снабженъ паровою рубашкою и сверху той наружною одеждою; подобную же обшивку имѣетъ и большой цилиндръ. Распределительный механизмъ у обоихъ цилиндровъ клапанный, но перемѣнная отбѣлка (системы Кольмана) устроена только при маломъ цилиндрѣ. Машина снабжена *ресиверомъ* *R*, составляющимъ собственно необходимую принадлежность *компаундъ-машинъ* (съ кривошипамъ подъ угломъ  $90^\circ$ ). Мятый паръ изъ малого цилиндра поступаетъ предварительно въ ресиверъ *R*, изъ котораго уже идетъ къ

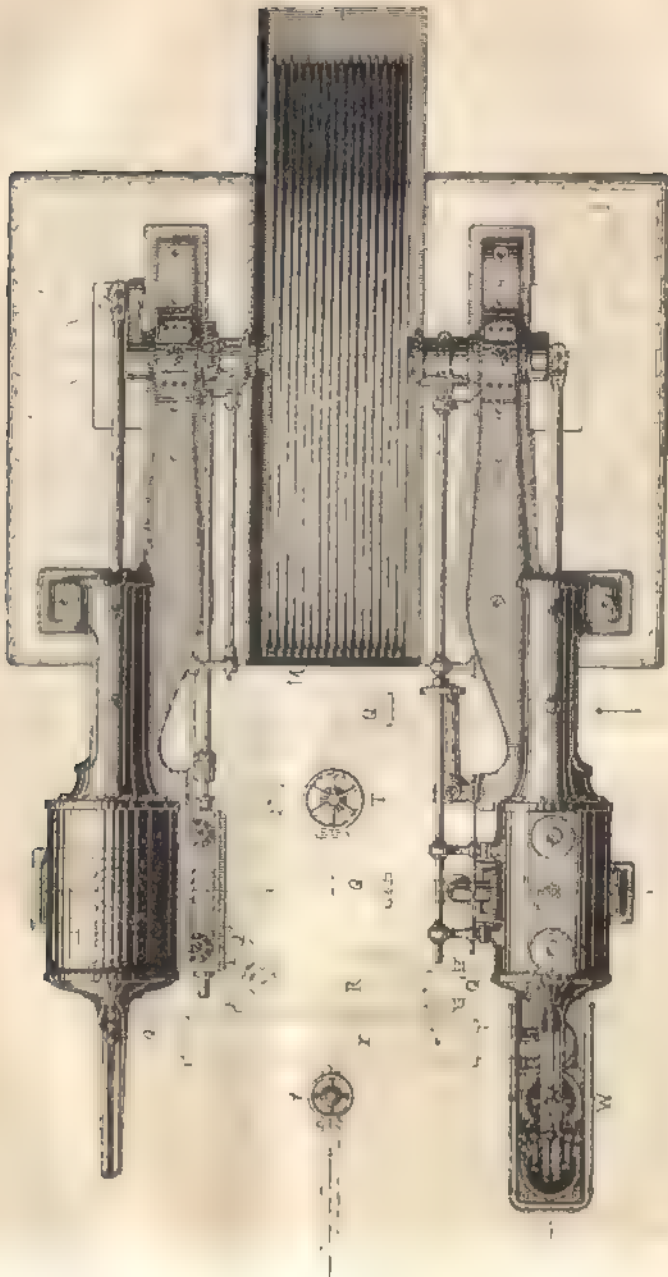
большому цилиндру. Ресиверъ снабженъ наружною одеждою и имѣетъ цѣль назначеніе ослабить влияние довольно значительныхъ вредныхъ пространствъ, сохраняя болѣе или менѣе постояннымъ давленіе мятая пара, питающаго большой цилиндръ. Холодильникъ *X* и воздушный насосъ *W* помѣщены подъ поломъ машиннаго дома. Движеніе поршня воздушнаго насоса передается отъ продолженнаго штока *D'* большаго поршня при помощи колычататаго рычага *N*.

**317. Компаундъ-ресиверъ машина** (фиг. 298). Малый цилиндръ снабженъ паровою рубашкою и распределительнымъ механизмомъ *Кольмана* для перемежной отсѣчки отъ регулятора, большой обыкновенно золотникомъ Мейера для постоянной отсѣчки, устанавливаемой отъ руки. Паръ изъ котла идетъ по трубѣ *Q* и, пройдя черезъ створный клапанъ *T*, вступаетъ въ паровую рубашку, а изъ нея въ распределительную коробку малаго цилиндра. Мятый паръ изъ малаго цилиндра поступаетъ предварительно въ ресиверъ *R*, помѣщенный между цилиндрами (подъ поломъ) и снабженный обыкновенно также паровою рубашкою, а изъ него по трубѣ *Q''* вступаетъ въ распределительную коробку большаго цилиндра. Наконецъ, отработавш. паръ изъ большаго цилиндра поступаетъ по трубѣ *Q'''* въ холодильникъ *X*, въ который холодная вода вбрызгивается черезъ кранъ *t* продукты охлажденія выкачиваются воздушнымъ насосомъ, устройство котораго анало-



фиг. 297.





Фиг. 208.

гично съ представленнымъ на фиг. 297. Особенность разсматриваемой машины составляетъ маховикъ М. приспособленный для канатной передачи (§ 27) работы различнымъ горизонтальнымъ валомъ. Подобная передача распространяется въ послѣднее время все болѣе и болѣе и имѣетъ цѣлью приближать промежуточной передачи посредствомъ ремней и коническихъ колесъ, чѣмъ достигается болѣе спокойный ходъ машины и тѣсная утилизация работы.

**318. Управление и уходъ за паровою машиною.** 1) *Монтировка.* Сборка машины (монтировка) на пазначенномъ мѣстѣ начинается съ устройства фундамента, который кладется или изъ кирпича (на цементъ) или изъ тесаного камня. На этомъ фундаментѣ устанавливается (по ватерпасу) основная фундаментная рама машины и укрѣпляется на немъ посредствомъ длинныхъ фундаментныхъ болтовъ. Затѣмъ, когда фундаментъ достаточно проченъ, приступаютъ къ сборкѣ частей машины, начиная съ неподвижныхъ частей (цилиндра, параллелей, подшипниковъ), прикрѣпляя ихъ болтами къ соответственнымъ мѣстамъ фундаментной рамы.

2) *Подготовка машины къ работѣ.* Передъ началомъ дѣйствія машины производится тщательный осмотръ всѣхъ частей ея съ цѣлью убѣдиться, все-ли въ порядкѣ: крѣпко ли сидятъ *клапаны* (головокъ, шатуна, штока, крейцкофа.), завинчены ли *гайки* (подшипниковъ, гайниковъ, крышекъ.), вѣрно ли установленъ *золотникъ* и т. п. Трещающія части должны быть всѣ смазаны, маслянки наполнены масломъ (деревянными, костянными или въ смѣси съ минеральнымъ масломъ). Затѣмъ открываютъ мало по малу *отпорные клапаны у котла* съ цѣлью *протравить паропроводы*, послѣ чего открываютъ немного створный клапанъ и *приводные краны* цилиндра для протравки цилиндра и удаленія изъ него конденсационной воды. Если машина съ *горючимъ топливомъ*, то должно продуть и этотъ послѣдній пропуская паръ черезъ него, съ цѣлью образования надлежащаго вакуума. Когда цилиндръ достаточно уже протравъ открываютъ болѣе и болѣе створный клапанъ, соответственно нормальному числу оборотовъ, а также взбрызгиваютъ краны, но остальные краны замираютъ. Машина пойдетъ, если кривошипы останутся при предыдущей заботовкѣ не очень близко къ мертвымъ точкамъ; въ противномъ случаѣ, закрывъ паровой клапанъ (во избѣжаніе исчерпанія) должно предварительно поставить кривошипы на *взмахъ* (на *подъемъ*), соответственно  $\frac{1}{4}$ , или  $\frac{3}{4}$  хода поршня, для чего должно повернуть нѣсколько маховикъ.

3) *Машина на ходу.* Во время дѣйствія машины главная забота машиниста состоитъ въ наблюденіи за *равномерностью ея хода*. Опытный машинистъ тотчасъ замѣтитъ пошла ли его машина скорѣе или тѣмѣ. Измѣненіе скорости машины можетъ быть достигнуто: 1) измѣненіемъ степени расширения и 2) открываніемъ и закрываніемъ *паропроводнаго клапана (отоможенія пара)*. Если эти измѣненія производятся автоматически регуляторами, — тѣмъ лучше. Въ противномъ случаѣ машинистъ производитъ ихъ отъ руки. Если какая либо трещащая часть сильно *нагрѣется* — *загорится* (напр. валфы, шейки, подшипники, вследствие недостаточной смазки или вследствие того, что крыльчатые болты или клинья сильно стянуты), то должно *огладить* *нагрѣтѣею* *частью* *водою* и возобновить смазку или отпустить немного гайки или клинья, во избѣжаніе поломки и порчи. При переходѣ поршня черезъ *мертвыя точки* часто слышатся *удары*, причина которыхъ кроется въ *слабости* *нѣкоторыхъ частей* *подшипника* *главнаго вала*, *головки штока* и *шатуна*, *поршня*, *частей* *распределительнаго механизма* и т. п., а также вследствие скопленія воды въ цилиндрѣ. Всѣ эти причины ударовъ должны быть немедленно устранены. *Недостатокъ параша* или *зо, оттока*, влекущая за собою усиленный *расходъ пара* при меньшей

полезной работѣ указывается нагреваніемъ холодильника. Должно очистить кольца поршня и золотникъ отъ грязи (если въ этомъ причина неистощенности) или же переправить пружины поршня и притеснить золотникъ. Причину значительнаго ~~повышенія~~ ~~надавленія~~ ~~въ~~ ~~холодильникѣ~~, указываемаго вакууметромъ, служатъ или скопившаяся паръ или воздухъ, прибавившаяся черезъ фланцы и стыки. Паръ скопится или вследствие недостатка холодной воды, или вследствие неплотности поршня; недостатокъ же воды можетъ произойти вследствие загрязнения водоприводной трубы или вбрызгивающаго крана. Все эти недостатки должны быть тотчасъ устранены, причемъ должно на время остановить холодильникъ, а мятый паръ выпустить въ атмосферу при помощи особаго клапана, находящагося при холодильникѣ.

4) *Остановка машины.* Машину приходится останавливать не только при забастовкѣ, но и въ случаѣ какой либо порчи (скада ремня, потопки трансмисси) (откуда видно что машина не должна оставаться безъ присмотра ни на минуту во время хода. Чтобы остановить машину, осторожно закрываютъ паровой клапанъ, постепенно замедля ходъ машины и стараясь совершенно прикрыть его въ тотъ моментъ, когда вращающіеся станины на вамахъ.

## II. ПЕРЕДВИЖНЫЯ МАШИНЫ.

**319 Паровозы** <sup>1)</sup> Подъ именемъ *паровозовъ* (локомотивовъ) разумеютъ *самостоятельную* *реверсивную* *машину* *быстрого* *движенія*, *установленную* *имѣть* *съ* *котломъ* *на* *колесныхъ* *ходу* и *служащую* *для* *передвиженія* *поезда* *по* *железнымъ* *дорогамъ*. Въ каждомъ паровозѣ надо различать слѣдующія *три* *главныя* *части*:

1) *котель* *съ* *его* *армиатурою* *и* *арматурою*; 2) *паровую* *машину* и 3) *оживляющую* *часть*, состоящую изъ рамы, на которой установленъ паровозный котелъ и укреплены части машины и посредствомъ которой весь паровозъ распределяется (при помощи рессоръ) на весь его ось.

На фиг. 299—302 представленъ *товарный* *станкокопильный* *паровозъ* *въ* *продольномъ* *разрѣзѣ*, *боковымъ* *видѣ* и *въ* *четыре* *перпендикулярныхъ* *разрѣзахъ* *черезъ* *опорную* *коробку* (фиг. 301—4-й видъ чертежъ), *черезъ* *вращающую* *ось* (фиг. 301), *черезъ* *паровой* *кранъ* *и* *не-*

<sup>1)</sup> Первые попытки примѣненія паровой машины къ устройству паровозовъ были сделаны *Кьюжо* въ Пизажѣ (1785 г.), *Оливеромъ Лопсомъ* въ Филладелфій (1804 г.) и *Рич. Гривинкомъ* въ Англіи (1804 г.), но ни одна изъ нихъ не дала удовлетворительныхъ результатовъ. Главнѣйшее затрудненіе заключалось въ недостаточной паропроизводительной способности котловъ, которые были близкаго кривой кривизны. Тотъ же недостатокъ представлялся паровозу, построенный *Горамъ (Стифенсомъ)* въ 1815 г. улучшеніи, сделаннымъ имъ, *копильнаго* *движенія* и *продолжительнаго* *механизма*. Для построения паровоза получилъ сильную толчку съ стороны изобрѣтателя *Маркхэма Сеникса* (1827 г.) трехчатыхъ котловъ. Локомотивъ построенный въ 1829 г. *Робертсомъ (Стифенсомъ)* (сыномъ на премію Ливерпульскаго Машиностроительнаго общества, представлялъ уже два вѣдущихъ нововведенія трехчатый котелъ и искусственную тягу мятымъ паромъ. Въ главныхъ частяхъ этотъ паровозъ остался еще неизмѣненъ и до настоящаго времени. Кузнеческая изобрѣтена *Стифенсономъ* въ 1842 г.

реднюю ось (фиг. 302 -- левый чертеж) и через паровой цилиндр (фиг. 302). Фиг. 303 представляет вид задней стѣнки наружной огневой коробки съ площадки машиниста.

**320. Паровозный котель.** Паровозные котлы — всегда трубчатой системы (§ 236) высокого давления (отъ 8 до 12 атм.). У насъ топливомъ служатъ 1) *прям:* 2) *каменный уголь*, 3) *антрацитъ* (на югѣ России) и 4) *нефть* (върѣе *нефтяные остатки*) — пока еще въ видѣ рѣдкихъ исключеній, сжигается она либо на желобчатыхъ (ступенчатыхъ) колосникахъ (*Победа*), либо при помощи форсунокъ (§ 218), почти безъ дыма и искръ. Можно принять 1 фунтъ *прям* дастъ 3 ф. пара, 1 ф. кам. угля — 5 до 7 ф. пара, 1 ф. антрацита — 8 ф. пара и 1 ф. нефти — 10 ф. пара.

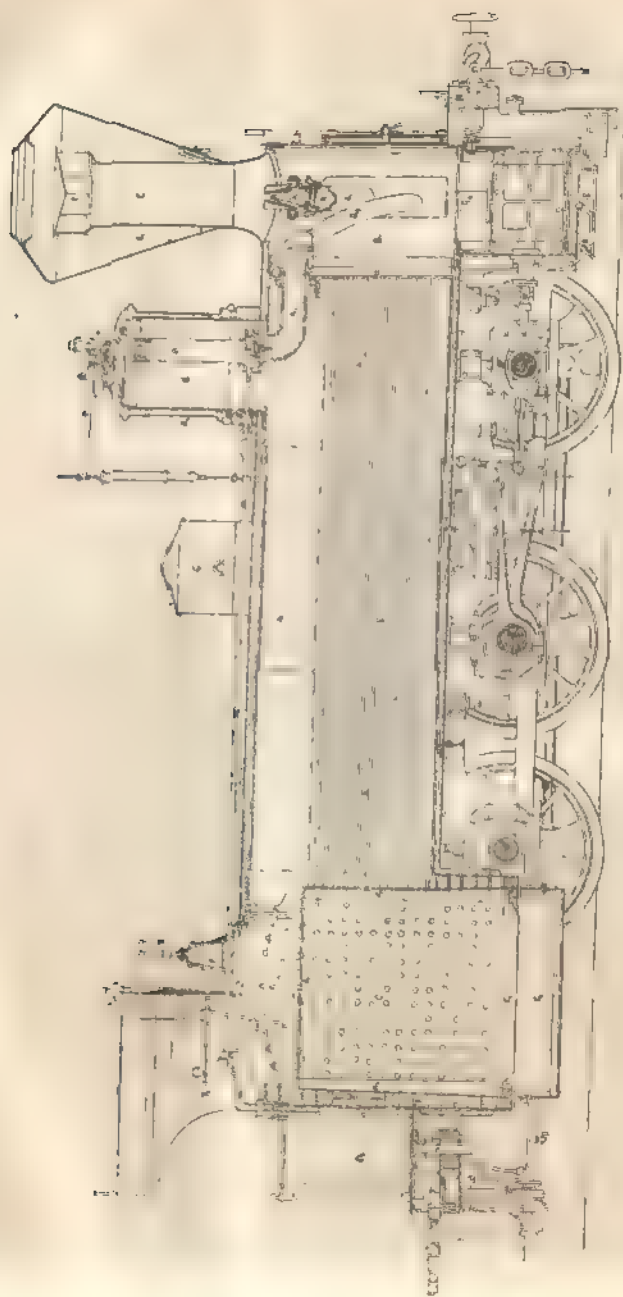
*Паровозный котель* заключаетъ въ себѣ слѣдующія части: 1) *огневую камеру*; 2) *цилиндрическую часть*; 3) *дымовую камеру* и 4) *арматуру съ гарнитурой*.

## I Огневая камера (фиг. 299 и 304). Ея части:

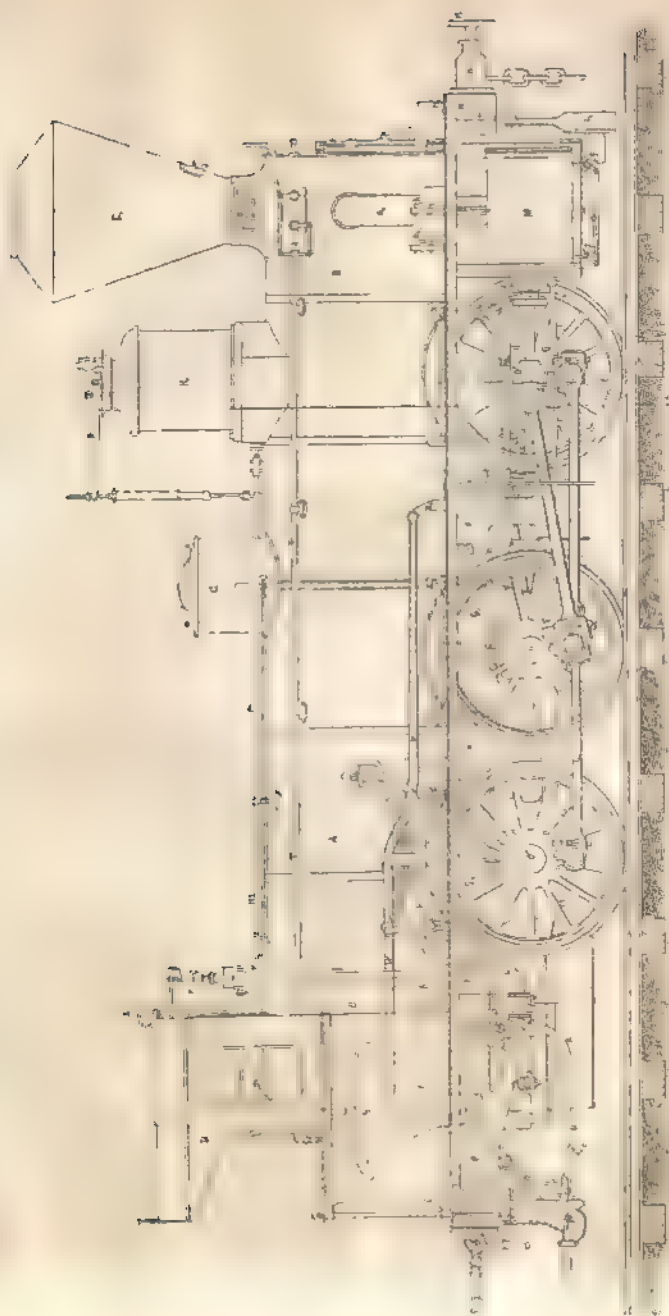
1) *Внутренняя огневая коробка С*. Она дѣлается всегда изъ листовой красной мѣди, которая долѣе служитъ въ огнѣ и лучше (въ  $2\frac{1}{2}$  раза) проводитъ теплоу, нежели желѣзо. *а* — есть такъ наз. *шинельный листъ* ( $\frac{5}{16}$ "), образующій потолокъ (*небо*) и боковыя стѣнки камеры; *а*<sub>1</sub> — листъ передней стѣнки, въ которой укрѣпляются концы дымогарныхъ трубокъ, или такъ наз. *трубная доска* (*ручнотка*) въ 1" вверху и  $\frac{1}{2}$ " внизу; *а*<sub>2</sub> — листъ задней стѣнки ( $\frac{5}{16}$ "); *о* — *самондвигавшаяся предохранительная пробка*, она отливается изъ особаго сплава, обтачивается на конусъ, снабжается нарызкою и ввинчивается прямо въ шинельный листъ (въ небо), сплавъ выбирается такой, чтобы температура плавленія его была на 10° выше температуры, соответствующей нормальной упругости пара въ котлѣ <sup>1)</sup>; при переходѣ упругости за этотъ предѣлъ, пробка плавится и вода заливаетъ огонь.

2) *Наружная огневая коробка* (кожухъ топки), въ которой помещается камера С, подобно постынной, она имѣетъ форму параллелепипеда и склеивается изъ листы желѣзныхъ ( $\frac{5}{16}$ ") или *стальныхъ* (мягкой стали) листовъ ( $\frac{1}{2}$ "), *внутренняго* листа ( $\frac{3}{16}$ "), образующаго потолокъ, двухъ *боковыхъ*, *переднюю* (*поперечинную*) *а*<sub>4</sub> и *заднюю* *а*<sub>3</sub>. Кожухъ дѣлается иногда плоскій вверху, иногда же вмѣстѣ цилиндрической части котла (*припоянная коробка*), съ целью получать болѣе сухой паръ. Для болѣе прочной задней листъ скрѣпляется съ верхнимъ посредствомъ *угольниковъ* (§ 229).

<sup>1)</sup> Напр., сплавъ изъ 8 ч. висмута, 32 ч. свинца и 28 ч. олова плавится при 160,5° С., соотв. 7 атм. упругости пара; сплавъ изъ 8 ч. висм., 30 ч. свинца и 24 ч. олова плавится при 172 С. (6 атм.) и т. п.



Фиг. 299.



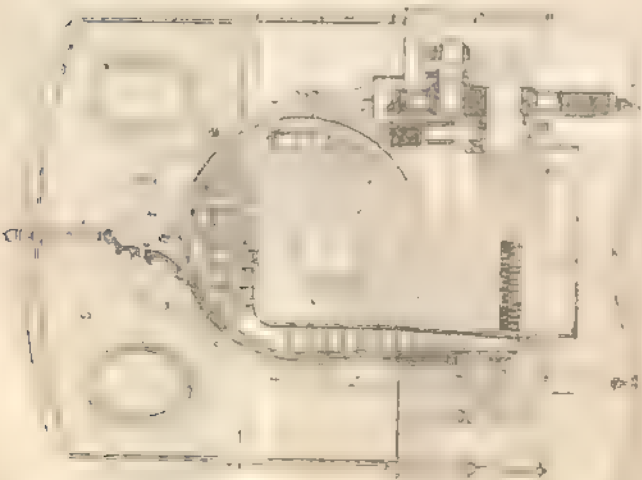
Фиг. 300.



е.е—(фиг. 301 и 298) суть распорные заклепки (болты), приготовляемые изъ мягкаго жельза, стали или мѣди. Онѣ служатъ для скрѣпленія между собою плоскихъ стѣнокъ камеръ, въ преду-



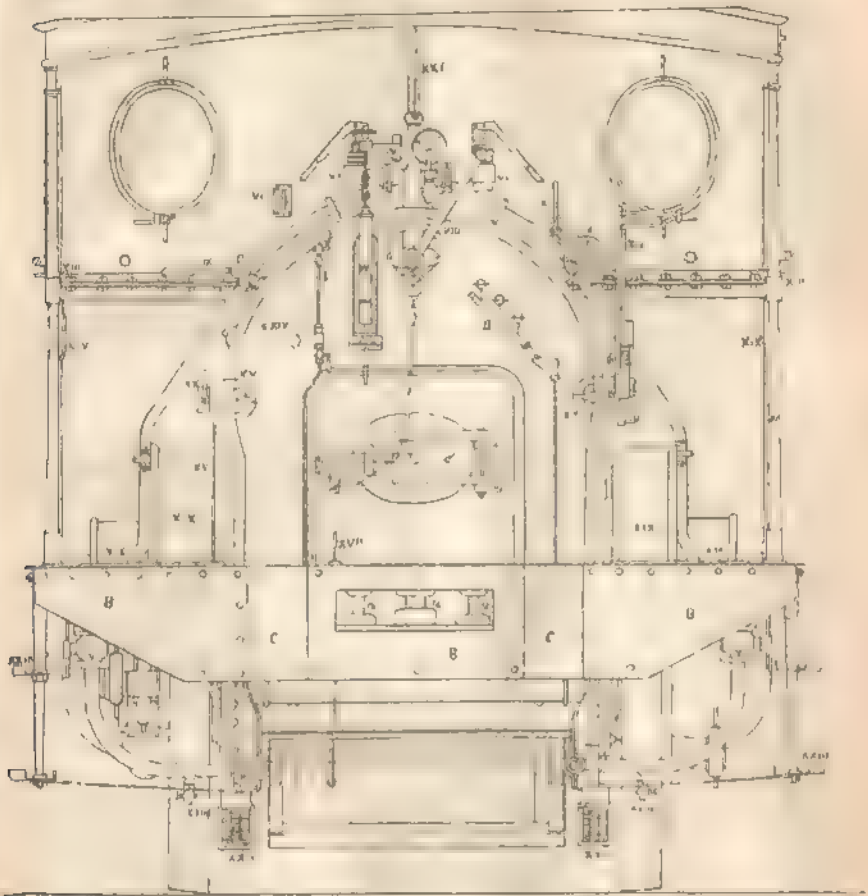
Фиг. 302.



Фиг. 301.

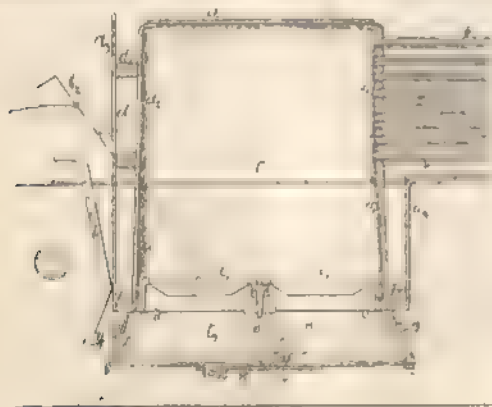
преждемъ выпучиванія ихъ отъ давленія пара. Ввинтивъ такую заклепку, снабженную наръзкою, въ стѣнки камеръ, спиливаютъ наръзку на выступающихъ концахъ, которые затѣмъ расклепываютъ (въ холодномъ состояніи) въ головки. Распорныя заклепки нерѣдко

разверливают до половины длины, для того чтобы можно было легко узнать по течу поломку какой либо из них.



Фиг. 303. I—водомерное стекло; II—пробные краны; III—манометр; IV—пружинные вбсы и рычаги предохранительного клапана; V—часть корпуса инжектора; VI—паровпускной клапан инжектора; VII—ручка приводной тяги песочницы; VIII—рукоятка регуляторного вала; IX—ручка приводного вала продувательных кранов; X—ручка приводного валика форсового крана; XI—машинчик форсового крана; XII—реверс с зубчатой дугой; XIII—машинчик вбсовых кранов; XIV—ручки вертикальных тяг водопроводных кранов инжектора; XV—прямые тяги; XVI—тяга зубчатая для подъема передних дверец зольника; XVII—тяга зубчатая для подъема задних дверец зольника; XVIII—краник водосточный на водопроводной трубе инжектора; XIX—кожух над колесами; XX—ручка створного крана питательного клапана; XXI—болты свистка; XXII—подвесные ресоры, поддерживающие верхний стержень буфер задних колес паровоза; XXIII—ступенька поджек; XXIV—промывательный кран.

$f$  — нижняя рама огневой коробки (фиг. 304, 305), т. е. желѣзная прокладка между внутреннею и наружною огневыми коробками, скрѣпляемая съ нижними краями камерныхъ листовъ двойнымъ рядомъ заклепокъ  $e_1$ ; рама эта образуетъ дно промежутка между камерами, наполненнаго водою.  $d_1$  — подобная же рама топочнаго отверстия  $d$ .  $l_1, l_2$  — *промывательный люкъ* (фиг. 305), служащій для промывки и очистки котла отъ осадковъ. Люки ставятся въ нѣсколькихъ мѣстахъ котла, вверху и внизу, и представляютъ небольшое овальное или треугольное отверстие, закрываемое изнутри желѣзною крышкою  $l_2$  такой же формы, крышка ставится на *плетенку* (пенковая плетушка въ видѣ жуговъ, пропитанная суриковою краскою) и притягивается къ краямъ стѣнки помощью болта и скобы  $l_1$ . Въмѣсто люковъ часто ставятъ *промывательныя пробки*, которыя ввинчиваются на сурикѣ прямо въ стѣнку котла. Черезъ нихъ, во



Фиг. 304.



Фиг. 305.

время *промывки* котла, пускаютъ сильную струю воды, которая отмываетъ осадки. *Промывку* (въ депо — послѣ выпуска воды изъ остывшаго котла; надо отличать отъ *продувки на ходу*, которая отъ времени до времени (черезъ 1—2 ч.) производится съ цѣлью удаленія части осадковъ, не успѣвшихъ еще прикипеть: наливаютъ воду почти до верха водоизмѣрнаго стекла и, открывъ осторожно *спускной кранъ*, выпускаютъ часть воды (до середины стекла)

3) *Топочныя двери*  $d$  (фиг. 303), герметически закрывающія топочное отверстие и состоящая двойныя стѣнки (наружный и внутреннй листы), скрѣпленныя заклепками, несущими на себѣ распорныя трубки. На чертежѣ видны: шарнирный болтъ дверецъ, запоръ и его скоба, удержка, петля на дверцахъ, планка съ двумя петлями на котлѣ, цѣпь дверецъ съ кольцомъ и крючкомъ.

4) *Колосниковая рѣшетка*  $C_1$  и *поддувало*  $C_2$  (фиг. 301). Колосниковая рѣшетка  $C_1$  состоитъ изъ двухъ рядовъ (иногда изъ

одного — фиг. 299) чугунных или желѣзных *колосниковъ*, поддерживаемыхъ желѣзными полосами  $d$ , прилепанными къ стѣнкамъ камеры. *Подпирало* или *зольникъ*, служить для собиранія зола и для регулированія тяги. Онъ имѣетъ видъ ящика и состоитъ изъ желѣзныхъ листовъ, склепанныхъ между собою и съ огневою камерою при помощи угольниковъ.  $g_1$  — *передняя дверца зольника*, открываемая при помощи системы козничатыхъ рычаговъ  $g$ , или и рукоятки  $b_2$  съ зубами для прочной установки.  $\delta$  — *задняя дверца*,  $g b_1$  — *приводный рычагъ* этихъ дверей;  $k$  — *нижняя дверца зольника*, открываемая во время чистки и ремонта. Во время дѣйствія котла открываютъ лишь заднія двери  $\delta$ .

5. *Анкерныя балки*  $e$ , (фиг. 299), служащая для укрѣпленія неба въ предупрежденіе выпучиваніе его отъ давленія пара. Онѣ представляютъ высокія желѣзныя полосы, расположенныя рядами по длинѣ котла (фиг. 301) и опирающіяся своими концами на переднюю и заднюю стѣнки огневою камеры. Съ этими балками небо топки скрѣпляется посредствомъ болтовъ, наз. *анкерными*. Иногда анкеры ставятся поперекъ котла, концами на особые угольники, прилепанные къ боковымъ листамъ наружной камеры; иногда же вмѣсто анкерныхъ употребляются длинныя болты, стягивающіе небо и верхній листъ кожуха, если же небо выпуклое, то анкерныхъ скрѣпленій не ставится вовсе. *Для уменьшенія нагрузки неба* анкерныя балки подвѣшиваются посредствомъ пряжекъ къ верхнему листу кожуха.

6) *Будка машиниста* (D фиг. 299 и 300), въ которой помѣщаются машинистъ, его помощникъ и кочегаръ. Листы: передній, боковые и листъ крыши склепываются съ *площадкою* будки при помощи угольниковъ. Передняя и боковыя стѣнки будки снабжены ovalными окошками (фиг. 303). Въ будкѣ, подъ рукою у машиниста, находятся рукоятки приводныхъ тягъ и рычаговъ всѣхъ приборовъ, которыми управляетъ машинистъ (фиг. 303).

## II. Цилиндрическая часть котла (фиг. 299).

Она склепывается изъ желѣзныхъ листовъ  $\left( \frac{1}{2} - \frac{11}{16} \right)$ , рѣже изъ стальныхъ, и снабжена обшивкою изъ тонкаго листового желѣза для защиты котла отъ охлажденія; подобную же обшивку имѣетъ и наружная огневая камера. Промежутокъ между стѣнками котла и обшивкою заполненъ деревянною или пробковою одеждою. Диаметръ цилиндрической части бываетъ у *товарнаго* *паровоза* отъ 4' до 4'  $\frac{1}{2}$  при длинѣ 11—13  $\frac{3}{4}$  ', а у *полярныхъ* отъ 4' до 5' при длинѣ 13'—17'.

Внутри цилиндрической части проходятъ *дымовыя* (*пропарныя*) трубки, числомъ отъ 150 — 200. Концы ихъ укрѣпляются

въ *задней* (а<sub>1</sub>) и *передней* (а) трубных доскахъ, первая мѣдная и скрѣплена съ цилиндрическою частью при помощи *связи* р (фиг. 304), а вторая — желѣзная и скрѣплена съ цилиндрическою частью посредствомъ *угольниковъ* (фиг. 302). Трубки большою частью *сваренная желѣзная* (или изъ мягкой *бессемеровской* стали) съ напаяннымъ со стороны тонки мѣднымъ *концомъ*, наружный диаметръ ихъ 2", толщина стѣнокъ около  $\frac{1}{8}$ ". *Латунные* трубки (70% мѣди и 30% цинка) почти совѣтъ оставлены, такъ какъ онѣ легко даютъ течь, вслѣдствіе того, что латунь расширяется сильнѣе желѣза, сверхъ того онѣ гораздо дороже желѣзныхъ (въ 2 раза). Для удобства выниманія трубокъ отверстіе для нихъ въ *дымовой рѣшеткѣ* дѣлается (иногда на концы) больше отверстія въ *топочной рѣшеткѣ*. Вставивъ трубку, концы ея расширяютъ (*раскатываютъ*) при помощи особой машинки (*раскатки Дюжона*), для того чтобы трубка плотно сидѣла въ трубныхъ доскахъ. Затѣмъ выступающіе края трубокъ загибаютъ (*зачеканиваютъ*) особымъ инструментомъ (*чеканкомъ*), образуя *буртики*. Если со временемъ буртики потекутъ, то вколачиваютъ въ *концы* трубки *стальные кольца*. Чтобы вынуть трубку (для замены новой) обрубавъ буртикъ въ тонкѣ, сминаютъ *концы* и выбиваютъ затѣмъ трубку въ *дымовую коробку*.

На верху цилиндрической части помѣщаются *два паровыхъ колпака* — большой и малый. *Большой колпакъ* К приклепывается къ *пил. части котла* вблизи *дымовой трубы* (гдѣ паръ суше) и служитъ для собиранія и просушки пара, на немъ устанавливается *предохранительный клапанъ, лавзъ и маслянка для регулятора* и въ немъ же беретъ свое начало *паропроводная труба* Q. *Малый колпакъ* F устанавливается близъ *буды*, на немъ находится *сигнальскій*, второй *предохранительный клапанъ* и отъ него берутъ начало *паровыя трубки инжекторовъ*.

### III. Дымовая камера.

Она составляетъ какъ-бы продолженіе цилиндрическаго корпуса котла. Заднюю стѣнку ея образуетъ *передняя трубная доска* а ( $\frac{3}{4}$ " боковыя стѣнки и днище — желѣзные листы въ  $\frac{1}{4}$ " толщиной, а *переднюю стѣну* — желѣзный-же листъ въ  $\frac{6}{16}$ ". Принадлежности *дымовой камеры*:

- 1) *Продольный локъ* — внизу *задней стѣнки* коробки (въ *передней трубной доскѣ*).
- 2) *Стойка верхняго фанаря* — на *передней стѣнкѣ*.
- 3) *Поручки*, идущія вокругъ всего *паровоза*.
- 4) *Зольникъ* *дымовой коробки* съ *заслонкою* для собиранія *накопляющихся въ коробкѣ угольковъ и золы*.

5) *Двери омывой коробки*, устраиваемыя въ передней стѣнкѣ коробки и служащія для осмотра камеры и для вставления и очистки прогарныхъ трубокъ. Двери должны плотно закрываться, иначе тяга будетъ черезъ двери, а не черезъ поддувало. *Ручка записки*) затворнаго механизма двери имѣть въ срединѣ рамы, въ которой помещается крутой эксцентрикъ (см. чертежъ), снабженный рукояткою. Вращая рукоятку въ ту или другую сторону поднимать (отпирать) или опускать (заливать) засовку. Вторая ручка (на фиг. 299 не видна), снабженная винтомъ служитъ для болѣе плотно притягиванія двери къ передней стѣнкѣ камеры.

6) *Дымовая труба* Е. имѣющая цилиндрическую форму и заключенная внутри конического кожуха Е', предохраняющаго ее отъ охлаждения. Труба снабжена особымъ аплераторомъ (1) для задерживанія пепла (*искроуловитель*), представляющимъ сходство съ направляющимъ аппаратомъ торфяныя. Выходя перекрывать сверху, аппаратъ (1) заставляетъ продукты горѣнья измѣнить направление своего движенія, при чемъ пеплы, продолжая до пверши прямолинейное движеніе, полученное при выходѣ изъ аппарата, сдвигаются о кожухѣ и, теряя скорость, падаютъ въ промежутокъ между кожухомъ и трубою, въ этомъ же промежуткѣ скопляется вода, образующаяся вслѣдствіе конденсаціи матаго пара, вырабатываемаго въ трубу. Аппаратъ (1) ставится лишь въ паровозахъ, отопляемыхъ дровами, при отопленіи углемъ ставится металлическая сѣтка надъ верхнимъ рядомъ прогарныхъ трубокъ.

7) *Ложка* въ нижней части кожуха трубы, для очистки его отъ золы и сажи.

#### IV. Арматура котла. Ее составляютъ:

1) *Вспомогательное стекло* (I, фиг. 303) съ отводною трубкою продувательнаго крана стекла;

2) *Три пробныхъ крана* (II, фиг. 303) съ веревкою и отводною трубкою подъ кранами.

3) *Манометръ* (III) со стойкою для фонаря.

4) *Два предохранительныхъ клапана* (р—фиг. 299 и IV фиг. 303). Клапаны *пружинные* (системы *Миченкова*), т. е. конецъ рычага сочленяется со стержнемъ пружинныхъ весовъ. Употребленіе груза необходимо въ томъ отношеніи, что вслѣдствіе измѣненности положенія оси котла дѣйствіе его было бы неодинаково: сверху того, положеніе самого груза на рычагѣ могло бы измѣняться по причинѣ толчковъ и сотрясеній.

5) *Система* (z, фиг. 294) для подачи сигналовъ. Она состоитъ изъ двухъ бронзовыхъ чашекъ, установленныхъ съ небольшимъ зазоромъ одна надъ другою. Внутри чашекъ проходитъ стержень, снабженный на нижнемъ концѣ коническою пробкою, закрываю-



ною доступъ пара къ свистку, а верхнимъ концомъ сочлененный съ приводнымъ рычагомъ свистка, между верхнею чашкою и рычагомъ помѣщена спиральная пружина, нажимающая на рычагъ вверхъ. Нажавъ рычагъ внизъ, машинистъ открываетъ клапанъ, причѣмъ сильная струя пара, ударяясь объ заостренный край верхней чашки, заставляетъ его вибрировать. Съ этимъ же рычагомъ соединенъ конецъ *сигнальной веревки*, которая протягивается вдоль всего поезда.

6) *Два напорныхъ инжектора* (J—фиг. 300, V—фиг. 303), помыщаемыхъ подъ будку. Одинъ изъ нихъ *запасной*. Паръ притекаетъ къ инжектору трубою I, берущую начало въ маломъ клапанѣ F. Изъ тендера вода притекаетъ по трубѣ *и*, нагнетание же въ котель происходитъ по трубѣ *л*. Въ концѣ этой трубы установленъ *питательный клапанъ*, а между нимъ и котломъ помѣщается особый *спиральный край*, имѣющій назначеніе изолировать клапанъ отъ котла на время осмотра питательнаго клапана, а также тушить пожаръ струей воды изъ инжектора.

7) *Фурсовъ конусъ* (X, фиг. 299), служащій для регулировки тяги. Какъ извѣстно, искусственная тяга въ паровозѣ производится струей мытого пара, который отводится изъ паровыхъ цилиндровъ по трубамъ  $R_1, R_2$ , соединяющимся въ дымовой коробѣ въ чашку *двойника* R, верхушка которой образуетъ такъ наз. *конусъ*. Выходъ изъ конуса въ трубу E, мытый паръ увлекается за собою газъ, находящіеся въ дымовой коробѣ, и такимъ образомъ производится въ ней разряженіе, обуславливающее тягу воздуха черезъ поддувало и котельную рѣшетку въ точку C. Регулировка тяги конусомъ достигается измѣненіемъ его выпускнаго отверстия. Съ этою цѣлью передняя и задняя стѣнки конуса устраниваются въ видѣ клапановъ. Сдвигая или раздвигая эти стѣнки, достигаютъ *суженія* или *расширенія* отверстия для выхода мытого пара. Въ первомъ случаѣ скорость пара увеличивается, а чѣмъ больше эта скорость, тѣмъ сильнѣе пригасываются горячіе газы изъ точки въ дымовую трубу, т. е. тѣмъ сильнѣе тяга. Для одновременнаго поворачиванія клапановъ конуса въ разныя стороны служитъ рычажный механизмъ Z, приводимый въ движеніе тягою T, идущею вдоль всего паровоза и оканчивающеюся въ будкѣ машиниста рукояткою.

Иногда конусъ устраивается въ видѣ *короткаго конического мундштука*, который можетъ быть подниматься или опускаться въ верхнее отверстие двойника R при помощи системы рычажковъ, при чемъ отверстие двойника суживается или расширяется.

8) *Фурсовъ край* или *сифонъ*. Тяга конусомъ производится во время движенія паровоза, во время же остановки (а также въ случаѣ порчи конуса) искусственная тяга производится при помощи такъ наз. *сифона*—мѣдной трубы, берущей начало въ боль-

шомъ колпакъ К и выходящей другимъ концомъ (загнутымъ вверхъ) въ дымовую трубу. Трубка снабжена краномъ, открывъ который пускаютъ струю пара изъ котла въ трубу и такимъ способомъ производятъ тягу. Для поворачиванія края служитъ тяга, идущая снаружи котла къ будкѣ машиниста (на чертежѣ сифонъ не показанъ).

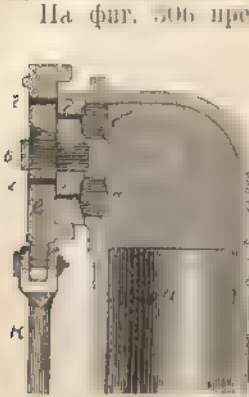
9) *Песочница* (Г, фиг. 299). Случается иногда, что по какой либо причинѣ сѣбленіе между ведущими колесами и рельсами уменьшается настолько, что колеса вращаются на одномъ мѣстѣ, не подвигаясь впередъ паровоза, или, какъ говорятъ, *блуждаютъ*. Въ такихъ случаяхъ для увеличенія сѣбленія рельсы посылаются пескомъ, хранящимся въ *песочницѣ* Г, откуда онъ выпускается по мѣсной трубкѣ, оканчивающейся у самаго рельса. *Ручкоятка* для приводной тяги клапана *песочницы*, черезъ которую выпускается песокъ, находится въ будкѣ машиниста.

10) *Водоспускной кранъ*, черезъ который выпускается вода изъ котла во время *проточки* его или съ цѣлью *охлажденія* (для чистки и ремонта). Онъ привинчивается исключительно въ нижней части наружной огневой коробки. На фиг. 300 онъ видѣтъ немного лѣвѣе инжектора J.

**321. Паровая машина локомотива.** Машина паровая принадлежитъ къ типу *соединенныхъ машинъ*. Цилиндры ея прикрѣпляются къ рамамъ при помощи болтовъ, обыкновенно снаружи по бокамъ дымовой коробки — въ горизонтальномъ положеніи. Между собою цилиндры скрѣпляются посредствомъ поперечныхъ отъѣчныхъ и горизонтальныхъ листовъ, склепанныхъ съ рамой при помощи угольниковъ. Какъ и весь котель — цилиндры снабжены кожухомъ. Крышки цилиндровъ либо притираются къ фланцамъ, либо ставятся на *лонжероны* *прободку* или же на *бачечку и сирень*, подобнымъ же способомъ ставятся и крышки *шибровъ* (подпиточныхъ) *коробокъ*. На фиг. 300 видны *продольные краны* г.г., ввинченные въ нижнюю часть *правого* цилиндра М, они служатъ для *проточки* цилиндровъ передъ началомъ хода машины и для *проточки* цилиндровъ (для выпускаванія *конденсационной* воды) на *горю*. Маслянки h и h, служатъ первая для смазки внутренней поверхности цилиндра, а вторая для смазки золотникового стола.

Паръ изъ верхней части большого колпака К, гдѣ онъ наиболѣе сухъ, забирается трубкою Q, снабженною вверху продолговатыми щелями. Въ этой трубѣ установленъ плоскій золотникъ г, наз. *регуляторомъ*, играющій роль створнаго клапана. Регуляторъ имѣетъ форму пластинки, снабженной прорѣзами и движущейся по горизонтальному (или вертикальному, фиг. 306) столу съ соответствующими окладками, устроенному на дрымвомъ концѣ паропроводной трубы Q<sub>1</sub> (или регуляторной трубы Q, фиг. 306). Передвиженіе регулятора производится при помощи тяги п, оканчивающейся въ

будет машиниста длиною рукояткою (фиг. 303); выходящая отверстие тяги (из котла наружу) снабжены сальником. При открытии регуляторъ паръ изъ трубы  $Q$  поступаетъ въ паропроводную трубу  $Q_1$ , которая развѣтвляется при входѣ въ димовую коробку (при помощи чугуннаго *тройника*) на два рукава  $Q_2$ ,  $Q_3$ , ведущие паръ въ золотниковыя коробки цилиндровъ. Если трубы мѣдные.



Фиг. 300.

На фиг. 300 представлена наиболѣе употребительная конструкция регулятора съ *двойнымъ золотникомъ и серрикатнымъ столомъ*  $б, в$ , въ которомъ сдѣланы прорѣзы, служащіе для впуска пара изъ котла въ паропроводную трубу  $Q$ . Вырѣзы  $б, в$  закрываются *большимъ* (широкимъ) золотникомъ  $а$ , въ тѣлѣ котораго пятаются узенькія щели  $а, а'$ , закрываемыя *малымъ* (узенькимъ) золотникомъ  $с$ , въ которомъ сдѣланы подобныя же щели  $с, с'$ . Приводъ отъ регуляторной рукоятки, помещающейся въ будкѣ машиниста, сдѣланъ къ малому золотнику. Скоба  $к$  служитъ для обеспечения правильнаго положенія малого золотника. Железа тронуть ползѣть машинистъ, продвигаетъ осторожно внизъ малый золотникъ, для чего не требуется большого усилія, такъ какъ поверхность прикосновенія его къ большому золотнику не велика. Какъ только малый золотникъ сдвинутъ, паръ черезъ щели  $а, а'$  проходитъ въ регуляторную трубу  $Q$  въ небольшомъ количествѣ ползѣть плавно трогается съ мѣста. При дальнѣйшемъ движеніи малого золотника верхняя его закраина увлекаетъ внизъ большой золотникъ, при чемъ отсрываются большія отверстия  $б, в$  стола: машина можетъ работать полнымъ давлениемъ. Для смазки стола служитъ маслянка, устанавливаемая на большомъ козлѣ (фиг. 299).

Распределение пара въ локомотивахъ совершается *коробочнымъ золотникомъ* при помощи кулисы, которыхъ у каждаго паровоза должно быть двѣ, по щелѣ золотниковъ. Разматриваемый паровозъ снабженъ *кулисами Стифенсона* (фиг. 300). Перестановка обѣихъ кулисъ производится помощью *реверса Y* (фиг. 301), соединеннаго съ ведущею тягою  $W$ , другой конецъ которой соединенъ съ рычагомъ  $Z$ , зашпиеннымъ на горизонтальной оси, на которой посажены приводные рычаги (съ противовѣсами) обѣихъ кулисъ. Перемѣщеніе золотниковъ при переключеніи кулисъ производится помощью изогнутой *тяги u'u'*, огибающей переднюю ось  $Q'$ .

Для устранения мертвыхъ точекъ, кривошипны (или *колки*, если цилиндры внутреннія) заклинены одинъ къ другому подъ угломъ  $90^\circ$ . Движеніе *поршней* передается средней оси  $O$  при

помощи *шатуна*  $L$ , отпиля конецъ котораго сочлененъ съ *крей-конфомъ*  $S_1$ , скользящимъ между параллелями  $шд_1$ , а другой— съ цуговкою  $I$  кривошипа, откованнаго за одно съ колесомъ  $O$ . *Поршни* паровозовъ обыкновенно желѣзные—питаемые илие, шведской системы *Рамсботтома*, т. е. съ металлическою набивкою въ видѣ 3—5 узенькихъ *колецъ* (пружинъ), чугунныхъ или бронзовыхъ.

**322. Экипажная часть паровоза.** Ее образуютъ *рама* и *колесный ходъ*.

*Рама паровоза* состоитъ изъ двухъ продольныхъ балокъ  $P, P'$  (фиг. 300), склепанныхъ изъ толстыхъ желѣзныхъ листовъ. По концамъ (близъ точки  $п$  и  $у$  цилиндровъ) балки скрѣплены между собою довольно толстыми *поперечными желѣзными листами*. Форма балокъ весьма разнообразна и зависитъ отъ расположенія колесъ и цилиндровъ. Кругомъ ботла къ рамѣ прикрѣплены горизонтальныя желѣзные листы, образующіе *площадку*, служащую для *обмотки* паровоза во время движенія съ цѣлью осмотра и смазки частей. За толкою площадка эта переходитъ въ широкую *площадку будки машиниста*.

Укрѣпленіе котла къ рамѣ должно быть сдѣлано такъ, чтобы котелъ, нагреваясь, могъ свободно *расширяться*. Съ этою цѣлью укрѣпляется прочно на рамѣ лишь цѣмовая коробка, въ остальныхъ же мѣстахъ котелъ свободно тянется на рамѣ по серединѣ на особой поперечной *послѣдней*, имѣющей видъ по формѣ котла, а около точки котелъ опирается на балки угольниковъ, приклепанными къ наружной огневой коробкѣ.

*Колеса паровоза* различаются по своему назначенію на *ведущія*, *спаренныя* и *блуждающія* или *поддерживающія*. Первые получаютъ вращеніе непосредственно отъ шатуна (*бышла*) машины, при чемъ въ слѣдствіе значительнаго *сильянія* между колесомъ и рельсомъ, не позволяющаго имъ скользить по постѣлцамъ, они *трещатъ* по рельсамъ, сообщая такимъ образомъ *поступательное движеніе паровозу*. *Спаренными* колесами наз. тѣ, которые соединены такъ наз. *спарниками* или *сдвигивающими стѣлами* ( $L_1$ , фиг. 300) съ ведущими колесами и служатъ также для передвиженія паровоза (въ помощь къ ведущимъ). Наконецъ *блуждающія* колеса служатъ только для поддержанія паровоза *Число вращающ. осей* зависитъ отъ *силы* паровоза. Въ *паровозныхъ* паровозахъ обыкновенно всего одна только пара колесъ получаетъ движеніе отъ машины; въ паровозахъ же большой силы, напр., *товарныхъ*, спариваются двѣ и болѣе осей. Въ разсматриваемомъ товарномъ паровозѣ нѣ колеса спарены между собою.

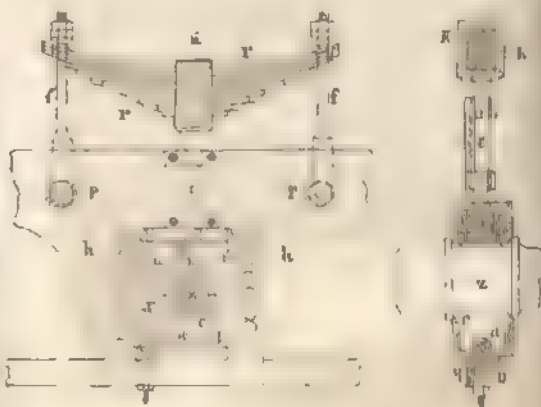
Оси сдѣлаютъ изъ самаго лучшаго желѣза или стали, колеса же болѣею частью желѣзные и насаживаются на оси *направленными* *оплывками* и сверхъ того укрѣпляются шпонкою. Кривошипы отковываются заодно со ступицею, которая затѣмъ сваривается со спи-

цами и ободомъ. На ободья колесъ надѣвается стальной *бандажъ* или *шина*; передъ надѣваніемъ шину разогрѣваютъ, для того чтобы, остывнувъ, она плотно охватила ободъ колеса, для большей прочности шину прикрѣпляютъ къ ободу еще болтами. Когда шина *выбьется* ее замѣняютъ новою. Для предупрежденія схода колесъ съ рельсовъ шины снабжаются закраинами (*гребнями*), входящими между рельсовъ. *Цуовки* (цапфы или *пальцы*) кривошиповъ дѣлаются всгавныя—гидравлическимъ давленіемъ или на притирку и гайку, въ обоихъ случаяхъ однако необходима шпонка. Наконецъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ колеса выступаютъ выше площадки, идущей вокругъ паровоза, эта послѣдняя имѣетъ прорѣзы и выступающія части колесъ покрыты *кожухами*.

Изъ паровозной рамы Р сдѣланы вырѣзы для установки подшипниковъ паровозныхъ осей, наз. *буксами* (фиг. 307 и 308). Изъ



Фиг. 307.



Фиг. 308.

краямъ вырѣзовъ приличиваются стальные *наличники* или *челюсти* (*щетки*) *d, б* (фиг. 307) между которыми помѣщается букса *a* и держится въ нихъ помощью закраинъ. Челюсть *d* прикрѣплена къ рамы отвѣсно, а *б*—наклонно, между этою послѣднею и буксою находится клинъ *х*, при помощи котораго производится правильная установка и укрѣпленіе буксы. Последняя состоитъ изъ трехъ главныхъ частей *a*—*железная коробка* (корпусъ, *буксы*), снабженная закраинами, охватывающими наличники *d* и *б*, *b*—*бронзовый вкладышъ*, залитый *бистбитовымъ сплавомъ* (олово, пинкъ, сурьма), и *с*—*нижняя чугунная коробка*, назначенная для собиранія стекающей смазки она укрѣпляется къ буксѣ посредствомъ болта *d* и заключаетъ въ себя перѣтку смазочную щетку, нажи-



маемую къ цапфѣ пружиною Корпусъ буксы имѣетъ наверху углубленіе для помѣщенія смазки. На верхнюю часть буксы упирается стержень *e* *рессоры* г, состоящей изъ стальныхъ пластинъ, охваченныхъ посрединѣ желѣзнымъ *хомутомъ* к. Концы рессоры соединены съ рамою паровоза при помощи подвесокъ *f* и такимъ образомъ черезъ ея посредство грузъ котла передается осямъ паровоза. Вѣдѣтніе такого устройства рама можетъ свободно опускаться и подниматься, пользуясь игрою рессоръ, что составляетъ весьма важное удобство, такъ какъ рама вмѣстѣ съ котломъ подвѣшена, по причинѣ неровностей пути (стыковъ рельсъ) и другихъ обстоятельствъ (§ 324) довольно частымъ и сильнымъ сотрясеніямъ. Рессоры двухъ смежныхъ осей обыкновенно соединяются между собою посредствомъ *балансировъ* (фиг. 300) для болѣе равномернаго распределенія нагрузки и толчковъ на всѣ оси.

*Упругая часть* паровоза (для сцепленія съ *тендеромъ* <sup>1)</sup>) состоитъ: 1) изъ *трехъ шкворней* а, аа — для сцепленія съ *тендеромъ*. Шкворни эти вставляются въ *чугунную коробку*, укрепленную къ площадкѣ машиниста и къ заднему поперечному листу В. Къ этому же листу прикрѣплены два *чугунныхъ упора* С для буферовъ тендера. Боковые шкворни аа — запасные, на случай разрыва главной связи тендера со шкворнемъ а. 2) *пятихъ тягъ* 3, изъ коихъ одна идетъ отъ средняго шкворня, а другая отъ тендера. Тяги эти снабжены на концахъ гайками, въ которыхъ проходятъ *тяжелыя винты*, снабженный двоякою наѣзкою (лѣвою и правою) и рукою, приваренною посрединѣ винта. 3) двухъ *цѣпей* для *малыхъ шкворней*.

Къ передней части рамы (передъ *дымовой коробкой*) прикрѣпленъ дубовый поперечный *буферный брусъ* Н (фиг. 299), оббитый желѣзомъ. Въ буферномъ брусѣ посрединѣ укрѣпленъ *упругий крюкъ* съ цѣпью для сцепленія паровоза съ поводомъ (когда приходится идти заднимъ ходомъ, на маневрахъ) или съ другимъ паровозомъ. Къ буферному брусѣ прикрѣпляютъ еще два *буфера* и служащіе для ослабленія ударовъ, происходящихъ при сцеплѣніи вагоновъ. Они состоятъ изъ *чугуннаго стакана* п, въ которомъ заключена сильная стальная пружина *h*<sub>1</sub>, и тарельки *д*<sub>1</sub>, снабженной круглымъ стержнемъ, плотно входящимъ въ цилиндръ п и передающимъ удары и толчки пружинѣ буфера.

<sup>1)</sup> *Тендеромъ* наз. вагонъ-платформа, слѣдующая непосредственно за паровозомъ и служащая для помѣщенія запасовъ топлива и воды для котла. Воды содержится въ желѣзномъ резервуарѣ, снабженномъ 3-мя пропускными кранами для опредѣленія количества воды прямою трубою для питанія тендера и по особымъ клапанамъ. Зимнюю воду прогнѣваютъ паромъ, впускаемымъ по особой трубкѣ. Тендеръ снабженъ сильными тормозамъ для останова паровоза. На тендерѣ же помѣщаются ящики съ инструментами, необходимыми при разныхъ случайныхъ работахъ на паровозѣ.



**323. Работа паровозной машины; сила тяги паровоза; сопротивление поезда движению.** Полезная работа паровозной машины расходуется на преодоление *сопротивления поезда движению*. Означив это сопротивление и скорость поезда буквами  $W$  (сил.) и  $v$  (м. вь сек.), получим работу, затрачиваемую вь сек. на преодоление этого сопротивления  $Wv$ , слѣд., *полезная работа двоиной машины локомотива должна быть равна*.

$$N = \frac{Wv}{75} \text{ п. з.}$$

Предположимъ, что паровозъ пнѣтъ одну пару ведущихъ колесъ и назовемъ буквою  $P$  силу, приложенную къ *ведущей оси*, направленную вь сторону поступательнаго движенья паровоза и способную произвести работу, равную работѣ машины локомотива. тогда получимъ:

$$N = \frac{Pv}{75} \text{ п. з.}$$

Усиліе  $P$ , необходимое для передвиженія поезда наз *силою тяги паровоза*. Какъ видно изъ предыдущихъ формулъ, *сила тяги паровоза равна сопротивленію поезда движению*.

Скорость  $v$  поезда есть величина данная, она опредѣляется назначеніемъ поезда для пассажирскихъ поездовъ она больше, нежели для товарныхъ (§ 325). Если  $D$  и  $n$  будутъ діаметръ ведущихъ колесъ и число оборотовъ кривошипа вь мин., то для скорости  $v$ , предположая, что колеса не скользятъ по рельсамъ, а только *перекатываются*, имѣемъ известное выраженіе:  $v = \pi Dn 60$ . По этой формулѣ опредѣляется при заданномъ числѣ оборотовъ машины (отъ 100 до 150) *діаметръ ведущихъ колесъ*, который, какъ видно, долженъ быть *тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость поезда* (пассажирскіе поезда).

*Сила машины локомотива* должна быть достаточна для преодоленія сопротивления поезда или, что то же, для *развитія наибольшей силы тяги паровоза*. Наибольшая величина силы машины вполне опредѣляется наибольшею величиною силы тяги или сопротивления поезда (при данной скорости), но *наибольшая величина силы тяги опредѣляется тѣмъ цѣлымъ, чтобы ведущія колеса не боксовали*, для чего сила тяги не должна превосходить сцепленія между колесами и рельсами. Такъ какъ численная величина этого сцепленія равна тому тренію, которое развилось бы, если бы колеса начали скользить, то, называя буквами  $f$  и  $Q$  коэфф. тренія 1-го рода (0,16 - вь среднемъ) и давленіе ведущихъ колесъ на рельсы, получимъ для *наибольшей величины силы тяги* выраженіе

$$P_{\max} = fQ.$$

Чѣмъ больше сопротивленіе поѣзда, тѣмъ больше должна быть нагрузка (или такъ наз. полезный вѣсъ паровоза) его осей (ведущихъ и спаренныхъ). а какъ послѣдняя зависитъ отъ вѣса локомотива, то ясно, что болѣе сильные паровозы (товарные) должны быть въ тоже время и болѣе тяжелые. Съ другой стороны, во избежаніе быстраго изнашиванія рельсовъ и бандажей, давленіе на ведущую ось не должно превосходить 10000 klg.: слѣд. наибольшая сила тяги, при одной парѣ ведущихъ колесъ, равна:  $0,16 \cdot 10000 = 1600$  klg. При болѣебй силѣ тяги, требующей большаго вѣса паровоза, распределяють нагрузку на большее число осей, спаривая ихъ ствцающимися дышлами.

Что касается сопротивления везда движению, то въ составъ его входятъ: 1) сопротивления, происходящія отъ тренія напфъ осей въ буксахъ и колесъ объ рельсы, 2) сопротивление воздуха (вѣтра); 3) сопротивление, происходящее отъ вѣса поезда при подъемахъ, 4) сопротивление на криволинейной части рельсового пути. Последнее обуславливается скольжениемъ колесъ по рельсамъ, происходящимъ вследствие того, что путь, проходимый колесами по вѣншнему рельсу, болѣе пути, проходимому колесами другой стороны паровоза по внутреннему рельсу, и трениемъ закраины бандажей объ вѣншный рельсъ, происходящимъ вследствие центробѣжнаго стремленія поезда, для противодѣйствія послѣднему поперечнымъ профилю полотна желѣзной дороги дѣлаются слѣды параллельныя къ центру закругленія. На величину перечисленныхъ сопротивленийъ оказываютъ влияние многія обстоятельства, какъ, напр., состояніе пути и подвижного состава (паровоза, вагоновъ), снѣга, сметла рессоръ, болѣзнь или менѣе правильность распредѣленія нагрузки на оси и т. п. Отсюда понятна невозможность точнаго опредѣленія полнаго сопротивления поезда. На практикѣ оно опредѣляется по эмпирическимъ формуламъ. Можно принять приближительно: сопротивление пассажирскаго поезда на горизонтальномъ пути  $= \frac{1}{125}$  вѣса всего поезда <sup>1)</sup>, а товарнаго  $= \frac{1}{35}$ . На подъемахъ сопротивление увеличивается на столько тысячныхъ долей вѣса поезда, сколько тысячныхъ имѣетъ подъемъ. При опредѣленіи система путей руководствуются тѣмъ соображеніемъ, чтобы общій сумъ по соотвѣтствующей силѣ тяги паровоза, именно чтобы полное сопротивленіе поезда было меньше силы тяги паровоза.

324 Паразитныя движенія паровоза. Поступательное дви-  
женіе локомотива сопровождается всегда многими другими движе-  
ніями и колебаніями, происходящими отъ дѣйствія инерціи подвиж-

<sup>1)</sup> Вѣсъ вагоновъ пассажирскихъ размѣняется отъ 10 до 14 тоннъ, товарныхъ отъ 14 до 16 т., тендера отъ 10 до 15 т., паровозовъ пассажирскихъ отъ 19 до 25 т., товарныхъ отъ 27 до 32 т. и танк-паровозовъ отъ 12 до 20 тоннъ.

ных частей локомотива: *кривошиповъ, шатуновъ, штоковъ и поршней.*

Вслѣдствіе попережняго движенія поршней, штоковъ, шатуновъ и кривошиповъ взадъ—впередъ, происходитъ *подергиваніе* локомотива, выражающееся качаніями рамы вмѣстѣ съ котломъ: то взадъ, то впередъ. Кромѣ подергиваній, движеніе паровоза сопровождается такъ наз. *извилистостью*, т. е. колебаніями его то въ ту, то въ другую сторону около вертикальной оси, проходящей черезъ его центръ тяжести. Причина извилистости заключается въ расположении мотылей подъ прямымъ угломъ, вслѣдствіе чего поршни во временахъ движутся въ противоположныя стороны: она влечетъ за собою несимметричныя боковыя удары колесъ о рельсы.

Когда паровозъ находится въ покоѣ, то центръ его уравновѣшивается другою силою реакции, но при движеніи локомотива центры тяжести некоторыхъ поднимаемыхъ частей его периодически то поднимаются, то опускаются (кривошины, шатуны) и сверхъ того подымаются особыми перемежныя вертикальныя силы (давленія ползунковъ на параллели). Вслѣдствіе этихъ причинъ происходитъ вертикальныя колебанія центра тяжести такъ наз. *подергиваніе* или *идонтированіе* паровоза—и сверхъ того колебанія его около продольной горизонтальной оси, проходящей черезъ ц. тяжести *перевалки* паровоза. Наконецъ, такъ какъ сумма моментовъ вертикальныхъ силъ, производящихъ перевалки, относительно поперечной горизонтальной оси, проходящей черезъ ц. тяжести паровоза, имѣетъ величину периодически мѣняющуюся, то паровозъ испытываетъ колебанія около этой оси, или такъ наз. *продольную качку*.

Во въ указанныя выше *паразитныя движенія паровоза*, подымающая бесцѣленно часть работы машины, производятъ на органы локомотива разрушающее дѣйствіе, однако исполнѣ уничтожить всѣ эти движенія нѣтъ возможности: напр., чтобы уничтожить перевалку нужно было бы уничтожить рессоры и параллели. Однако подергиванія, извилистость и раздвошенія могутъ быть значительно ослаблены рациональныхъ примѣненіемъ *противобѣговъ*, расположенныхъ на ведущихъ колесахъ.

**325. Типы паровозовъ.** Устройство паровозовъ обуславливается свойствами пути и назначеніемъ локомотива на данной дорогѣ. По роду ихъ службы паровозы раздѣляются на слѣдующіе 4 главные класса: 1) *пассажирскіе паровозы*, назначенные для движенія пассажирскихъ поѣздовъ; 2) *товарные*— для товарныхъ поѣздовъ; 3) *тепловоспасажиры* паровозы— для сѣвѣнныхъ поѣздовъ и 4) *тепловоспасажиры* или *тепловоспасажиры*— для подгородныхъ линій и станціонной службы (составленіе поѣздовъ и т. п.).

*Пассажирскіе* паровозы *обыкновенной скорости* дѣлаютъ отъ 35 до 50 верстъ въ часъ при поѣздахъ до 15 вагоновъ. Они

имеют 3 пары колесъ, изъ которыхъ одна только средняя—ведущая—большаго диаметра. Пассажирскіе паровозы большой скорости дѣлаютъ до 75 и даже до 100 верстъ въ часъ при поѣздѣ въ 7—8 вагоновъ. Для достяженія такой скорости ведущимъ колесамъ паровоза даютъ возможно большій диаметръ (отъ 2 до 2,6 м.). *Товарные* паровозы, назначенные для передвиженія тяжелыхъ товарныхъ поѣздовъ, дѣлаютъ отъ 18 до 28 верстъ въ часъ и имѣютъ широкія или строенныя колеса небольшого диаметра (до 1,5 м.). Они обладаютъ большою силою тяги и могутъ передвигать поѣзды отъ 30 до 40 и болѣе нагруженныхъ вагоновъ, общимъ весомъ до 650 и болѣе тоннъ. *Товарно-пассажирскіе* паровозы занимаютъ среднее мѣсто между предыдущими. Они ходятъ со скоростью 32—40 верстъ въ часъ, ведущія колеса строенныя (отъ 1,5 до 1,6 м. диаметромъ). Паровозы эти могутъ вести поѣзды въ 20 смешанныхъ вагоновъ по полотну съ уклономъ 0,0005 т. е. 5 мм на 1 м. длины. *Танк-паровозы* не имѣютъ особого тендера, резервуаръ для воды и топливо помещаются на площади паровоза, они отличаются вообще небольшою разирами и употребляются chiefly для тягненья поѣздовъ по короткимъ подгороднымъ линиямъ. Станционные тендеръ-паровозы (*сукучики*) служатъ для перестановки вагоновъ составленія поѣздовъ и т. п.

**326. Управление и содержаніе паровоза.** Передъ назначеніемъ каждаго паровоза, совершенно новаго или вышедшаго изъ большаго ремонта, на службу онъ подвергается тщательному осмотру, причѣмъ машинистъ долженъ въ особенности убедиться, плотно ли запираются *дверцы топки и дымоходной камеры и поддувала*, хорошо ли пригнаны и тѣсно закручены всѣ гл. краны и рычажки, съ которыми придется имѣть постоянно дѣло во время движенія паровоза: *реверсъ, рычажки управленія рычагомъ регулятора, конуса, песочницы, продувочныя краны, водопитательныя коробки и цилиндры, инжекторы* и т. п.

Послѣ осмотра паровозъ *часовая часть* водитъ (изъ назначеннаго вѣсна паровознаго сараја черезъ водопускную кранъ котла) и разводять *пробные пары*, причѣмъ пробуются *инжекторы, сафракъ, манометръ* и *эжекторы* (или *машины*) (последніе испытываются при помощи контрольной *машины*). Чтобы узнать, *плотно ли регуляторъ закрываетъ трубу пара*, открываютъ водопитательныя краны, выходятъ пары черезъ нихъ, указкой на попятность регулятора. Затѣмъ, закрываютъ эти краны, тормозятъ тендеръ, ставятъ реверсъ на мертвую точку (самоеи въ серединѣ кулачковъ и отсрываютъ регуляторъ; при этомъ по прокладкѣ пара судятъ о *плотности паропроводящей трубы, манометрической крышки, сафракъ, крановъ*, а выходятъ пары въ трубу указкой на *плотность прижимки водопитательнаго клапана*. Наконецъ, чтобы узнать, *плотно ли ширини*, ставятъ кулачку то на передній, то на задній ходъ (при открытыхъ продувочныхъ кранахъ), при чемъ каждый разъ паръ долженъ выходить лишь съ одной стороны цилиндра. Если всѣ эти части *окажутся въ исправности*, машинистъ смазываетъ паровозъ и *дѣлаетъ пробный поѣздъ*, имѣющую цѣль проверить исправность паровоза въ дѣйстви, главнымъ образомъ *эжекторной части: колесъ и осей*, а также удѣлителительность смазки, для чего наблюдаютъ, *насколько ли* очень *параллельно, точно, жикетурки, буксы, велѣтели* и т. п. того, что эти части туго пригнаны, или потому что фитили дурно проводятъ смазку. При пробной поѣздѣ испытываютъ дѣйствіе *конуса*. По исправленіи всѣхъ оказавшихся

недостатковъ паровозъ назначается *съ парной*. Его дополняютъ водою, если она мало, и *разводятъ пары*, т. е. производить растопку, на которую требуется около 3 часовъ. если вода въ котлѣ холодная и около 1 часа, если она еще горячая. За полчаса до отхода поѣзда готовый паровозъ выходитъ изъ сараѣ къ станціи.

При *выходѣ съ парной со станціи* машинистъ ставитъ реверсъ на полный ходъ (последній зубъ), отпускаетъ тендерный тормазъ и осторожно по немногу открываетъ регуляторъ. поѣздъ трогается; машинистъ открываетъ продувательные краны цилиндровъ, съ цѣлью выпустить конденсационную воду, которой въ началѣ накапливается особенно много, ставитъ реверсъ ближе къ серединѣ зубчатой дуги (обыкновенно на 3-й зубъ) и по немногу открываетъ больше регуляторъ. На пути должно ѣхать съ вполнѣ открытымъ регуляторомъ и наблюдать торможеніе пара дѣйствіемъ сжуженныхъ отверстій. *На пути* машинистъ долженъ главнымъ образомъ заботиться о сохраненіи надлежащаго давления пара, наблюдая (согласно указаніямъ манометра) за своевременнымъ забранываніемъ топлива въ топку. *На станцію* паровозъ идетъ безъ паровъ при закрытомъ регуляторѣ, *передъ поѣздомъ* должно заблаговременно подкинуть топливо. Регулированіе пути производится исключительно при помощи большого или меньшаго подтема *открытъ, закрытъ* (обыкновенно задній — при переднемъ ходѣ и *повернуть, вынуть* конца должно прибывать въ крайніе случаи), такъ какъ съ уменьшеніемъ отверстія идетъ пара въ значительной степени увеличивается сопротивление мягкаго пара. Къ *сигналу* приближать для уменьшенія, если пару обнаружена недостаточность, во время стоянки или когда паровозъ идетъ съ закрытымъ регуляторомъ. При *пяти или шести* открываютъ сначала вѣстовой кранъ, и затѣмъ кранъ, сообщающій инжектору съ водою тендера, когда вода покажется изъ вѣстового крана, осторожно открываютъ паровой кранъ инжектора. Зимой, во приближеніи заморозки воды такъ въ инжекторахъ, такъ и въ трубахъ, а также въ тендерѣ, ее прогревають, отъ времени ко времени паромъ, для чего открываютъ паровой кранъ и замирають вѣстовой кранъ инжектора. При *подъѣздѣ къ станціи* машинистъ заблаговременно закрываетъ регуляторъ, но остановкѣ поѣзда тендеръ долженъ быть затормаживъ, реверсъ представлять на мертвую точку. Во время стоянки поѣзда осматривается, смазывается и берется вода и топливо.

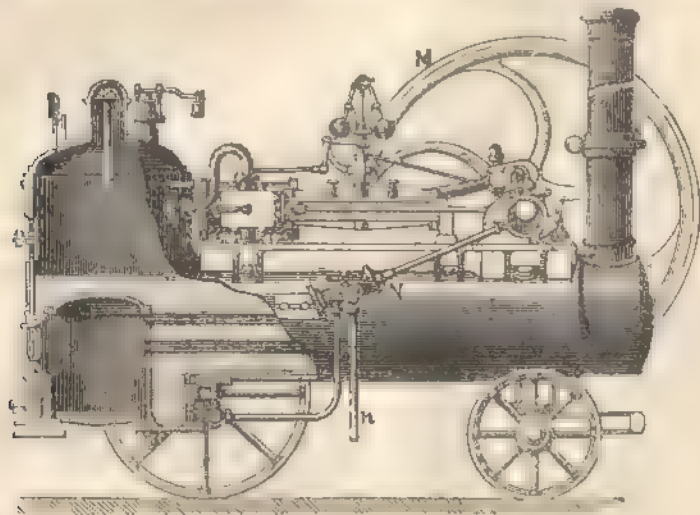
Послѣ бѣды или менѣе значительнаго *пробѣга* (800) — (1000) верстъ паровозу давать большую остановку — для *чистки и промывки*. Послѣшняя имѣетъ цѣлью удаленіе осадковъ и накипи и производится, послѣ совершеннаго остыванія опорожненнаго паровоза, сильною струей воды черезъ открытыя дыры и продувательные краны. Чистка дымоварныхъ трубокъ производится при помощи длиннаго желѣзнаго прута съ намотанною на конѣ его паклей. Пользуясь продолжительной остановкою, производить также чистку всего паровоза снаружи (колеса, осей, рамы, сидѣльницъ, дышла, кулеса, параллелей и проч.), перемѣняютъ, если надо, *набивку сапожниковъ* (протертая садовая протетка — въ видѣ жгутовъ изъ булавинной пряжи или пеньки), а также производить необходимый ремонтъ паровоза.

**327. Локобибли.** *Локобиблима* (фиг. 309) наз. паровая машина высокаго давленія, установленная вмѣстѣ съ котломъ на колесный ходъ, служащій для перемѣщенія локобибли съ мѣста на мѣсто (обыкновенно лошадьми). Мѣсто изобрѣтенія локобибли — Америка, но въ настоящее время они распространены всюду. имѣя наибольшее примѣненіе въ сельскомъ хозяйствѣ, гдѣ они служатъ для движенія различныхъ сельскохозяйственныхъ машинъ: молотилокъ, вѣялокъ, плуговъ, соломорѣзокъ, маслобоекъ, а также центро-



бѣжныхъ насосовъ, крутильшъ шпиль и т. п. Соответственно этому назначенію, локомобили должны удовлетворять двумъ главнымъ условіямъ: 1) они должны быть настолько легки, чтобы одна или двѣ лошади могли переносить ихъ по всякой дорогѣ, 2) устройство ихъ должно быть на столько просто, чтобы ухаживать за ними не представляло затрудненій для сельскихъ рабочихъ.

*Паровой котелъ локомобиля*—трубчатой системы (паровознаго типа), но трубки (железные) короче и меньше числомъ (не болѣе 10). Онъ заключаетъ въ себѣ слѣдующія части: *огневую камеру* (наружную и внутреннюю), распорные болты, анкерныя связи, плавящіеся пробки, промывательныя лѣвки, топочныя двери, колосниковую рѣшетку, зольникъ. Последний дѣлается въ видѣ плоскаго (съемнаго)



Фиг. 309.

ящика, закрытаго съ трехъ сторонъ, чтобы вѣтеръ не выдувалъ изъ него золу и мелкіе кусочки раскаленнаго угля. Зольникъ долженъ быть на столько плотно склепанъ, чтобы могъ держать въ себѣ воду (для гашенія золы). *Топливомъ* для локомобиля служатъ каменный уголь, торфъ, нефть, дрова, а въ безлѣсныхъ мѣстностяхъ— солома, камышъ, дубовое корье (отбросы кожевенныхъ заводовъ). Лучшіе локомобили расходуютъ 6—8 фунтовъ угля въ часъ на 1 п. л. дровъ— въ 2½ раза больше. За *огневою камерою* слѣдуютъ *цилиндрическая часть котла* съ продольными трубками, концы коихъ укреплены въ задней и передней трубныхъ доскахъ. *Дымовая камера*, тверцы дымовой коробки, дымовая труба. Тяга искусственная— струею мятаго пара. Труба склепывается изъ железныхъ листовъ



и имѣть высоту отъ 10 до 12 фут. Она ставится на шарниръ и во время работы укрѣпляется защелкою или чекою. Въ нижней части трубы долженъ быть помѣщенъ регистръ (заслонка) для управления огнемъ. Во избежаніе пожара отъ искръ, вылетающихъ въ трубу, въ особенности если топливомъ служатъ дрова, солома или камышъ, труба должна быть снабжена искроуловителемъ. Что касается *парового котла*, то онъ ставится лишь въ рѣдкихъ случаяхъ, чтобы не увеличивать вѣсъ локомотива (не болѣе 300 пуд. — порожній). Наконецъ, для уменьшенія излучиванія теплоты, котель (и паровой цилиндръ) снабжается *кожухомъ* изъ толстаго слоя *войлока*, покрытаго воймковою дощатою обшивкою, а сверху, последней — замочнымъ листовымъ желѣзомъ. *Арматуру котла* составляютъ: водопѣрное стекло, два пробныхъ крапа, кранъ для продувки и опорожниванія котла, кранъ для выпуска пара изъ котла въ трубу, створный клапанъ, дзвъ, манометръ, пружинный предохранительный клапанъ, свистокъ, питательный насосъ (N), а иногда, въ качествѣ вспомогательнаго прибора, инжекторъ, но лучше ручной насосъ. Въ клапанной коробкѣ насоса долженъ быть установленъ кранъ для выпуска воздуха и остановки питания.

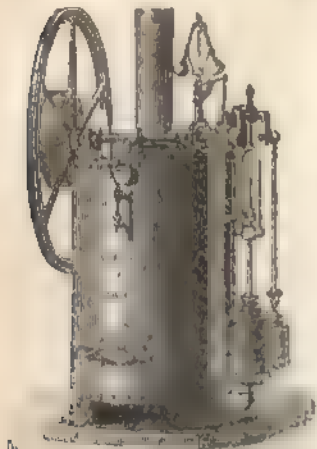
*Паровая машина локомотива* обыкновенно однопцилиндровая, большой скорости (отъ 110 и 200 оборотовъ въ мин.), силою отъ 2 до 25 и л. Ея главные части паровой цилиндра, поршень съ металлическою (чугунною, латунною или стальною) набивкою, масляника цилиндра, продувательные краны, расширительная коробка, чугунныя параллели, масляника ихъ, бронзовые полушны, крейцкопфъ, шатуны, коленчатый главный валъ, его подшипники со вкладышами изъ *бѣлаго мѣстала* (7 ч. мѣди, 82 ч. олова и 11 ч. свирмы) маховикъ (M), стужающій въ тоже время и шкивокъ, эксцентрикъ питательнаго насоса, забирающаго воду изъ казенной трубы и, центробѣжный регуляторъ Уатта. При сборкѣ частей локомотива, между которыми можетъ быть *просачиваніе пара или воды*, необходимо употреблять особныя прокладки. Для *крышекъ цилиндра*, *золотниковой коробки* и *фланцевъ паропроводящихъ трубъ* ровный и тонкій слой *сурьмовой замазки* (суршъ, свинцъ, бѣтита и паровое лѣняное масло), на которую накладывается толстая бумажная штка въ видѣ спирали; для *крышекъ люковъ и лазовъ* — *пеньковая плетинка* въ видѣ жгутотъ, пропитанная сурьмовою краскою, для *фланцевъ крановъ* — свинцовые кружки (1" и 1/2"), для *сальниковъ* поршневого и золотниковнаго штоковъ — *пеньковая плетинка*, пропитанная чистымъ саломъ; подъ *айки водопѣрнаго стекла* каучуковыя кольца; для *насоса* — *пеньковая набивка*, смачиваемая водою.

*Колесный ходъ локомотива* состоитъ изъ двухъ отдѣльных паръ колесъ (желѣзныхъ), *переднія колеса* имѣютъ диаметръ 3', заднія — 5'; ось послѣднихъ изогнута и на нее опирается огневая коробка. Ширина шинъ — 5".



ховникъ къ неподвижному устою; при плотной набивкѣ паръ будетъ выходить только через одинъ вранъ.

**329. Полулокомобили.** Подъ этимъ именемъ разумѣютъ безколесные локомобили, т. е. небольшія легкопереносимыя паровыя машины, укрѣпленныя на своемъ котлѣ. Полулокомобили, устанавливаются или прямо на фундаментъ или прикрѣпляются къ нему болтами. Фиг. 310 представляетъ вертикальный полулокомобиль, построенный *Бревалемъ* (въ Парижѣ). Машины этого рода всегда высокаго давления. Отличаясь компактностью устройства, но плавнымъ ходомъ, онѣ особенно удобны для *небольшаго заводовъ и мастерскихъ*, въ которыхъ, по недостатку мѣста, невозможно установить постоянную машину.



Фиг. 310.

**330. Пароходныя машины** <sup>1)</sup>. Машины эти служатъ для вращенія *пробныхъ колесъ* или *винта*, при помощи которыхъ достигается поступательное движеніе судна. Согласно этому пароходныя машины разделяются на *машины колесныхъ пароходовъ* и *машины винтовыхъ пароходовъ*.

*Первая* разделяется на *качающіяся* и *наклонныя* машины. *Качающіяся* машины имѣютъ сравнительно небольшой вѣсъ и занимаютъ мало мѣста, а потому ставятся на малоснабженныхъ и вообще небольшихъ судахъ. Паровой *цилиндръ* (циль) соединяется непосредственно съ котличатымъ валомъ и вращеніе не имѣетъ болѣе *высшихъ* и *нижнихъ*. Цилиндръ качается около двухъ притыкъ къ нему пустотѣлыхъ цапфъ, черезъ одну изъ нихъ притекаетъ свѣжій паръ, черезъ другую же выходитъ мятый. *Наклонныя* машины представляютъ въ настоящее время наиболѣе распространенную монтировку, вытѣсняя болѣе и болѣе качающіяся машины. Цилиндры располагаются подъ опрѣделеннымъ угломъ одинъ къ другому, ниже котличатаго вала колесъ.

<sup>1)</sup> Первая попытка примѣненія силы пара для движенія судовъ была сдѣлана еще *Навеномъ*, построившимъ въ 1707 г. паровую лодку, на которой онъ спустился по р. Фальдъ отъ Касселя до Мюнхена. Послѣ ряда неудачныхъ попытокъ *Голая* (1737 г.), *Перри* (1775), *Миллера* (1787) (*Станона* 1795), *Ливингстона* (1798), *Эванса* и др. были построены первый на *железномъ* пароходъ, удовлетворявшій требованіямъ практики, америк. *Робертсомъ Фултиномъ* (1800, г.), который по справедливости и считается изобрѣтателемъ паровыхъ судовъ.

*Машины винтовых паровозов* раздѣляются по способу монтировки на *вертикальныя, горизонтальныя и наклонныя*. Первые устанавливаются совершенно подобно флюгичнымъ вертикальнымъ машинамъ безъ коромысла, главный валъ которыхъ помѣщенъ ниже цилиндровъ. Онѣ употребляются чаще всего на коммерческихъ морскихъ пароходахъ. *Горизонтальныя машины* употребляются почти исключительно на военныхъ судахъ, гдѣ онѣ должны лежать по возможности глубже подъ палубой для защиты отъ неприятельскихъ выстрѣловъ. Онѣ страдаютъ тѣмъ недостаткомъ, что при большихъ машинахъ цилиндръ со временемъ, вследствие дѣйствія вѣса поршня, разконтинувается ovalъно. Для уравнивания поршня его снабжаютъ пустотѣлымъ штокомъ *Р* (тронкомъ) продуцирующъ черезъ салники обѣихъ крышекъ (фиг. 311). Шатунъ *Г* соединяется непосредственно съ поршнемъ *Р*, имѣющимъ кольцообразную форму. Диаметръ трѣяка долженъ быть достаточно великъ для того, чтобы шатунъ могъ свободно качаться внутри его. Машины этого рода, построенныя англ. инж. *Никомъ* и наз. *тронковыми*, занимаютъ мало мѣста, но онѣ требуютъ весьма большихъ цилиндровъ и сверхъ того трѣнокъ, попеременно входя и выходя изъ цилиндра, служатъ причиною значительной потери теплоты. Не смотря на это тронковыя машины очень распространены на военныхъ судахъ. *Нклонныя машины* встрѣчаются вообще рѣдко на винтовыхъ судахъ, преимущественно на небольшихъ пароходахъ, гдѣ онѣ устанавливаются съ цѣлью выиграть мѣсто. Цилиндры располагаютъ опять къ другому подѣ опредѣленнымъ угломъ надъ валомъ винта.



Фиг. 311

Въ настоящее время на пароходахъ ставятся исключительно машины *высокаго давленія и комбинир.-ресиньеръ* машины. По возможности ставятъ маховикъ перваго (входятъ *соединенной системы* Мятый паръ выбрасывается въ дымовую трубу для произведенія искусственной тяги.

Въ настоящее время на пароходахъ ставятся исключительно машины *высокаго давленія и комбинир.-ресиньеръ* машины. По возможности ставятъ маховикъ перваго (входятъ *соединенной системы* Мятый паръ выбрасывается въ дымовую трубу для произведенія искусственной тяги.

**331.** Главныя части паровой машины суть: 1) *паровой цилиндръ съ поршнемъ*; 2) *распределительный механизмъ и кулисы*, 3) *перебѣточный механизмъ* и 4) *конденсаторъ съ насосами*. Такъ наз. *гребной механизмъ* составляютъ гребныя колеса и винтъ.

*Гребныя колеса* представляютъ большое сходство по устройству съ висячимъ колесомъ, но строятся обыкновенно изъ металла: втулка—чугунная, ручки и лопатки—железные, колеса насаживаются по концамъ кольчатого вала, установленнаго поперекъ судна. Лопатки этихъ колесъ, погружаясь въ воду на 10—20 сант., встрѣчаютъ со стороны воды сопротивление, выражающееся давленіемъ

ея на лопатки и обуславливающее поступательное движение судна<sup>1)</sup>. Число оборотовъ колесъ въ минуту отъ 20 до 40. При своемъ вращеніи колеса сообщаютъ водѣ волнообразное движеніе (*отбой*), которое поглощаетъ большую часть работы, передаваемой колесамъ<sup>2)</sup>. Главный недостатокъ гребныхъ колесъ заключается въ нецѣлостности дѣйствія ихъ во время качки, при которой колеса неодинаково погружаются въ воду, слѣдствіемъ чего является неодинаковое давленіе на нихъ воды. При этомъ происходятъ постоянныя уклоны судна, влекуція за собою потерю работы.

Въ большей части паровыхъ судовъ гребныя колеса замѣнены винтомъ<sup>3)</sup>, состоящимъ подобно вѣтряному колесу, изъ нѣсколькихъ (2, 3 или 4) бронзовыхъ или стальныхъ крыльевъ или *лопастей* (фиг. 312), имѣющихъ форму винтовой поверхности и прилитыхъ къ толстой втулкѣ. Винтъ укрѣпляется около руля (на 0,5 м. подъ водою) къ концу горизонтальнаго вала, установленнаго въ прочныхъ подшипникахъ параллельно килу. При своемъ вращеніи въ водѣ, какъ въ гайкѣ, винтъ получаетъ вмѣстѣ съ судномъ поступательное движеніе, сообщая въ то же время водѣ волнообразное движеніе въ противоположную сторону, на которое тратится значительная часть работы машины, такъ что полезное дѣйствіе винта въ тихой водѣ почти одинаково съ колесами. Число оборотовъ винта въ минуту въ малыхъ судахъ равно 100 до 150, а въ большихъ—отъ 45 до 80.



Фиг. 312.

Скорость судовъ опредѣляется числомъ узловъ въ часъ, разумѣя подъ узломъ въ часъ 1 морскую милю—1,73898 версты. Обыкновенная скорость судовъ въ тихой водѣ измѣняется отъ 5,91 до 9,46 узловъ, т. е. отъ 10 до 16 фут. въ секунду или 10,29 до 16,46 верстъ въ часъ.

<sup>1)</sup> Въ Китаѣ съ незапамятныхъ временъ строятъ джонки съ 4 гребными колесами, которыя приводятъ въ движеніе людьми при помощи рукоятокъ. Римскія *либуры* (въ Александріи) имѣли 3 пары гребныхъ колесъ, которыя приводились въ движеніе 3 парами воловъ.

<sup>2)</sup> Изъ опытовъ надъ колеснымъ пароходомъ *Касторъ*, двигающимъ рейсы между Ронфлеромъ и Гавремъ, оказалось, что изъ 100 пар. л. силъ машины только 33,9 шло на преодоленіе сопротивленія воды и 7,9 поглощалось трениемъ, остальная часть 58,2 пар. л. поглощалась отбоями.

<sup>3)</sup> Первые попытки примѣненія винта были дѣланы *Докетомъ* (1727), *Даллеромъ* (1809), *Деламомъ* (1823), *Стеаженомъ* (1832), и др., но полное практическое рѣшеніе вопроса принадлежитъ англ. механику *Смиту*, построившему въ 1838 г. винтовой пароходъ *Арканго* въ 36 силъ. Первые винты Смита были съ плавнымъ ходомъ. Опытъ показалъ еяго преимущества винтовъ съ стѣпанными лопастями изъ которыхъ каждая занимала по длинѣ оси лишь небольшую часть хода винта.



## ГЛАВА XIV.

## Калорическія и газовыя машины.

## Динамо-машины.

Калорическія машины. Машины Эриксона и Лемана. — Газовыя машины Ленуара и Отто. — Нефтяныя машины. — Источники динамическаго электричества. Динамо-машины Грамма и Сименса. — Коэффициент полезнаго дѣйствія динамо-машинъ — Установка и уходъ за динамо-машинами — Электрическая передача работы на разстояніи.

**332. Калорическія машины.** *Калорическими* наз. термическія машины, въ которыхъ работа производится упругою силою нагрѣтаго воздуха. Какъ было уже замѣчено (§ 85), калорическія машины представляютъ слѣдующія преимущества передъ паровыми: 1) полную безопасность работы, обусловливаемую отсутствіемъ пароваго котла и играющую столь важную роль вездѣ, а особенно *въ малой промышленности*, гдѣ машины-двигатели часто помѣщаются въ жилыхъ помѣщеніяхъ; 2) отсутствіе надзора и простота ухода, не требующая почти никакихъ техническихъ знаній.

Къ *недостаткамъ* калорическихъ машинъ относятся: 1) быстрое изнашиваніе внутреннихъ подвижныхъ частей вследствие высокой температуры, необходимой для дѣйствія машинъ; 2) необходимость обильной и дорогой смазки; 3) значительный объемъ, а слѣд., и вѣсъ, рабочаго механизма, позволяющій имъ служить двигателями только небольшой силы.

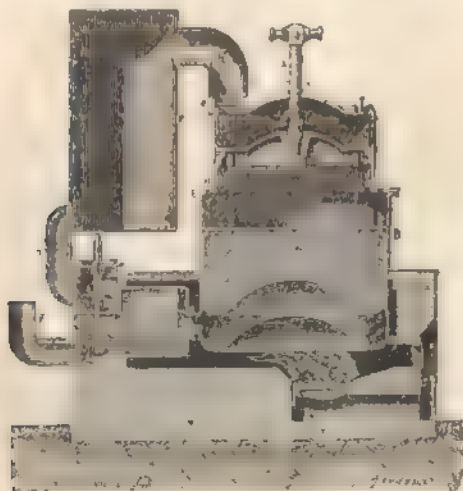
Существуетъ весьма много системъ калорическихъ моторовъ, но всѣ эти машины можно раздѣлить на два отдѣла: 1) *открытыя калорическія машины*, въ которыхъ отработавшій воздухъ выпускается въ атмосферу, замѣняясь новымъ объемомъ свѣжаго воздуха. Машины этого рода устроиваются съ *открытою* или *закрытою* тонкою. Въ первыхъ продукты горѣнія не смѣшиваются съ рабочимъ воздухомъ, уходя отдѣльно въ трубу; у вторыхъ продукты горѣнія, смѣшавшись съ рабочимъ воздухомъ, входятъ въ рабочий цилиндръ, и, отработавъ, уходятъ вмѣстѣ въ грубу. 2) *замкнутыя* машины, въ которыхъ постоянно работаетъ одинъ и тотъ же объемъ воздуха.

Въ отношеніи рациональности принципа, открытыя машины представляютъ преимущество передъ закрытыми, но простота конструкции послѣднихъ доставила имъ преимущественное практическое значеніе. Къ *открытымъ калорическимъ машинамъ* съ *открытою тонкою* принадлежатъ машины Эриксона, Вальсона, Вилл-кокса, Беду; а съ *закрытою тонкою* машины Шюв. Брюна, Ри-



пера, Гольддорфа и Бриккера, Гока и др. Изъ нихъ мы рассмотримъ первую по времени изобрѣтенія — машину Эриксона Изъ замкнутыхъ машинъ (Тоберо, Дальтона, Лемана, Ривера, Штермбера) мы ограничимся описаніемъ конструкции машины Лемана, какъ лучшей и наиболѣе распространенной.

**333. Машина Эриксона** <sup>1)</sup>. Машина эта состоитъ изъ двухъ вертикальныхъ цилиндровъ В и D (фиг. 313), изъ которыхъ движутся поршни С и С', соединенные между собою болтами d, площадь поршня С составляетъ около  $\frac{1}{2}$  площади поршня С'. Дно



Фиг. 313.

цилиндра В, наз. рабочимъ, имѣетъ выпуклую форму; такую же совершенно форму имѣетъ дно особаго цилиндра А, подишеннаго подъ рабочимъ поршнемъ С' и не прилегающаго плотно къ стѣнкамъ цилиндра В; онъ наполненъ худыми проводниками теплоты и назначенъ для предупрежденія лучеиспусканія въ пространство между поршнями, которое сообщено постоянно съ атмосферою (отверстіями а, а), а также для предохраненія набивки рабочаго поршня отъ нагрѣванія. Въ крышкѣ верхняго цилиндра D,

наз. питательнымъ, помещены два клапана с и с', изъ которыхъ первый открывается сверху книзу и сообщаетъ цилиндръ D съ атмосферою, а второй — снизу вверхъ, сообщая питательный цилиндръ съ резервуаромъ F при посредствѣ соединительной трубы К. Легко понять назначеніе цилиндра D. Онъ играетъ роль питательнаго насоса для резервуара F: при опусканіи поршня С надъ нимъ образуется разряженное пространство, вслѣдствіе чего наружный воздухъ, открывъ клапанъ с, входитъ въ цилиндръ D; при восходящемъ движеніи поршня клапанъ с' закрывается и воздухъ, заклю-

<sup>1)</sup> Первая идея открытыхъ калорическихъ машинъ принадлежитъ Карно (1824). Затѣмъ были произведены опыты англичаниномъ Стирлингомъ; но дѣйствительныхъ результатовъ на практикѣ удалось достигнуть Эрикссону, шведскому капитану, построившему въ 1833 г. первую машину въ 3 силъ, а въ 1853 г. поставившему на кораблѣ своего имени (въ Америкѣ) машину въ 150 силъ.

исный въ цилиндръ D, выталкивается черезъ клапанъ e въ цилиндръ F. Резервуаръ F соединенъ при помощи трубы n съ бакъ наз. *генераторомъ* G, играющимъ весьма важную роль въ машинѣ. Генераторъ состоитъ изъ толстой *металлической стенки* и сообщенъ постоянно съ рабочимъ цилиндромъ. Между трубкою n и генераторомъ G помещается клапанная коробка съ двумя клапанами b и f, изъ которыхъ первый отдѣляетъ генераторъ отъ резервуара F, а второй, будучи открытъ, сообщаетъ его съ атмосферой. Поочередное открываніе и закрываніе клапановъ производится самою машиною при помощи кулачковыхъ эксцентровъ.

Подъ влияніемъ теплоты развиваемой топливомъ на рѣшеткѣ H, воздухъ, заключенный между рабочимъ поршнемъ и дномъ цилиндра B, нагревается и, расширяясь, заставляетъ оба поршня двигаться вверхъ. По мѣрѣ разреженія воздуха подъ рабочимъ поршнемъ новое количество его притекаетъ изъ резервуара F черезъ клапанъ b и генераторъ G и, нагреваясь въ свою очередь, производитъ работу расширения. При обратномъ движеніи поршень выталкиваетъ обработанный воздухъ черезъ генераторъ и клапанъ f въ атмосферу, клапанъ b закрытъ. При этомъ происходитъ всасываніе воздуха въ цилиндръ D. Генераторъ нагревается на счетъ теплоты обработаннаго воздуха. При слѣдующемъ размахѣ поршня, воздухъ, проницая резервуаръ F черезъ генераторъ, будетъ поступать въ рабочий цилиндръ уже нѣсколько нагрѣтымъ. Такимъ образомъ, генераторъ служитъ источникомъ экономіи топлива. Прямое и обратное качальное движеніе поршня передается главному валу при помощи коромысла, соединеннаго со штокомъ K.

Изъ этого описанія видно, что машина Фриксона простаго дѣйствія, такъ какъ упругая сила нагрѣтаго воздуха производитъ только восходящее движеніе поршня, нисходящее же движеніе, какъ и въ атмосферической машинѣ Ньюкомена, производится давлениемъ наружнаго воздуха и вѣсомъ поршня.

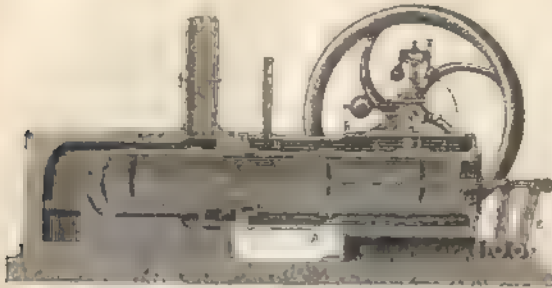
По опытамъ произведеннымъ въ Гаврѣ надъ машиною Фриксона, оказалось, что она требуетъ 25 кгг угля на 1 паровую лощ. въ часъ, слѣд. тепловое полезное дѣйствіе ея (§ 272)  $\eta = 0.037$ , т. е. около 3.7% запаса работы, заключающагося въ топливѣ. Такимъ образомъ, машина Фриксона въ этомъ отношеніи не превосходить хорошей паровой машины вслѣдствіе же сложности конструкции, быстрота и изнашиванія внутреннихъ подвижныхъ частей, а также некомпактности всего устройства, она вышла уже изъ употребленія.

**334. Машина Лемана** <sup>1)</sup>. Между существующими калорическими моторами машина Лемана получила самое обширное распро-

<sup>1)</sup> Первая идея закрытыхъ калорическихъ машинъ относится еще къ 1827 г. и принадлежитъ англич. Стивенигу Индустриальн. фр. инж. Леберъ построилъ на этомъ принципѣ первую калорическую машину, которая довольно долго пользовалась практическимъ примѣненіемъ.

странение. Устройством своим она напоминает несколько машину Эриксона, но отличается тем, что оба цилиндра, рабочий и питательный, соединены в один, при чем на рабочий поршень давить всегда холодный воздух, вследствие чего он изнашивается не так скоро.

Главную часть машины составляет открытый горизонтальный чугунный цилиндр АА (фиг. 314), снабженный двойными стенками, между которыми непрерывно протекает холодная вода. Ци-



Фиг. 314.

линдръ А выполняет роль рабочего цилиндра и соединенъ со стаганомъ С, который служит резервуаромъ для нагрѣтаго воздуха. Задняя часть стагана С погружена въ кладку печи и постоянно охватывается пламенемъ, нагрѣвающимъ его до краснаго ка-

ления. Въ передней части рабочего цилиндра движется поршень D, сообщающий катальное движение рычагу E, укрѣпленному на оси O. На той же оси укрѣпленъ другой рычагъ, который посредством шатуна передаетъ движение валу маховика. Рабочий поршень снабженъ боковою набивкою, запирающею цилиндръ А до тѣхъ поръ, пока давление внутри его больше наружнаго, но какъ только внутреннее давление понижится и атмосферное, кожанный воротникъ отрываетъ наружному воздуху доступъ внутрь цилиндра. Внутри цилиндра А находится сильное вымяло LL, имѣющее видъ пустотѣлаго, герметически закрытаго цилиндра, сдѣланнаго изъ тонкаго листоватаго желѣза. Къ вымялу прикрѣпленъ штокъ, пронзенный нѣсколько во внутрь его и для прочности соединенный со скрѣпляющею внутреннюю перегородкою K. Снаружи этотъ штокъ проходитъ черезъ рабочий поршень, въ которомъ для этой цѣли устроенъ сальникъ, и соединяется съ рычагомъ M, качавшимся около оси O'. Простѣеюю точечка свое катальное движение, сообщаемое рычагу E, отъ вала маховика при посредствѣ шатуна, рычага показаннаго на оси O', передаетъ и небольшому грузику. Между стенками вымяла и цилиндра А находится въ катальномъ состояннѣ, по которому легко перемещаться, при вынужденнѣйшемъ давленнѣ на рабочий поршень и наоборотъ. Для вѣснаго треннѣ вымяло и стенки рабочего цилиндра еще опираются на роликъ P, который свободно катается вѣнѣтъ съ вымяномъ.



свѣтильнаго газа въ пропорціи 10 до 12 объемовъ перваго на одинъ объемъ втораго. Въ сравненіи съ паровыми, газовыя машины представляютъ тѣ же преимущества, что и калорическія. Онѣ лучше утилизируютъ теплоту, нежели паровыя машины. Лучшія современныя газовыя машины расходуютъ въ 1 часъ 1 куб. м. свѣт. газа на 1 паровую лошади. полезной работы, что соотвѣствуетъ приблизительно 6,000 ед. т., тогда какъ лучшія паровыя машины расходъ 1 klz угля, т. е. болѣе 7,000 ед. т. Существенный недостатокъ газовыхъ машинъ, подобно калорическимъ составляетъ необходимость искусственнаго охлажденія внутреннихъ подвижныхъ частей машины вѣдствие высокой температуры, неизбежно развивающейся внутри рабочаго цилиндра во время работы машины.

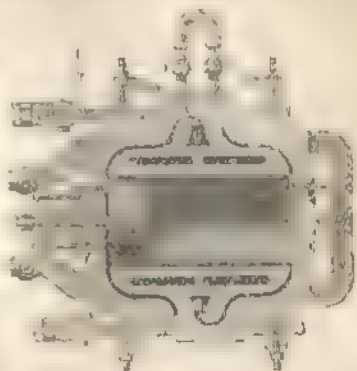
Всѣ существующія газовыя машины можно отнести къ слѣдующимъ двумъ классамъ 1) *машинъ прямого дѣйствія*, въ которыхъ давленіе горячихъ газовъ на рабочій поршень непосредственно передается валу маховика. Сюда принадлежатъ машины *Ленуара*, *Гугона*, *Ванзеля*, *Отто*, машины болзшой силы *Герца*, машины съ постепеннымъ горѣніемъ смѣси *Симона* и проч., 2) *газовыя машины непрямой дѣйствія*, въ которыхъ сжиганіе газовой смѣси служитъ только средствомъ для обрѣтѣнія давления въ рабочемъ цилиндрѣ, а самая работа производится атмосфернымъ давленіемъ, потому такія машины наз. обыкновенно *атмосферическими* газовыми машинами. Сюда принадлежатъ машины *Данкена-Отто*, *Жуля*, *Вердьема* и др. Машины второй категоріи представляютъ самыя экономичныя двигатели онѣ расходуютъ меньше 1 куб. м. свѣтильнаго газа на 1 пар. л. въ 1 часъ времени. Мы опишемъ машины *Ленуара* и *Данкена-Отто*, какъ пріобрѣтшія на практикѣ наибольшую извѣстность.

**336. Машина Ленуара.** Въ 1860 г. фр. инженеръ Ленуаръ построилъ первую газовую машину, нашедшую себѣ практическое примѣненіе и возбудившую большой интересъ новизною идеи. Она работала смѣсью свѣт. газа и воздуха въ пропорціи 2 — 5 частей газа на 98 — 95 ч. воздуха. Воспламененіе смѣси производилось посредствомъ электрической искры, для полученія которой служили два элемента Вуизена и индукціонная катушка Румкорта. Движущею силою служила упругость продуктовъ горѣнія, мгновенно расширившихся вѣдствие образования огромнаго количества теплоты.

Машина *Ленуара* представляетъ полное сходство съ горизонтальною паровою машиною. Внутри рабочаго цилиндра А (фиг. 315) движется обыкновенный поршень В, который покр. штоком С, шатунъ и кривошипы передаетъ давленіе валу маховика. На этомъ валу насажены два кулачковые эксцентрика сообщающіе движенье двумъ плоскимъ золотникамъ Е и Е<sub>1</sub>, расположеннымъ по обѣимъ



сторонамъ цилиндра и служащимъ первый для впуска въ цилиндръ газовой смѣси, второй— для выпуска продуктовъ горѣнія. Газоводная труба К разветвляется въ видѣ вѣтви, каждой вѣтви которой снабжена краномъ (F и F<sub>1</sub>); послѣдніе должны быть установлены такимъ образомъ, чтобы количество газа къ количеству воздуха, вступающаго въ цилиндръ по каналу G, было въ отношеніи 2: 98. Цилиндръ имѣетъ двойныя стѣнки III, между которыми постоянно протекаетъ холодная вода, предохраняющая его отъ слишкомъ сильнаго нагрѣванія. Черезъ каждую крышку цилиндра продлены изолированныя (латиновые или медныя) проводники X, Y, Z, которые при каждомъ ходѣ поршня посредствомъ протѣго приспособленія, сообщаются съ проводниками баттарей, служащей для полученія искры.



Фиг. 315

Часть машины весьма проста. Газовая смѣсь впускается въ цилиндръ вѣдѣстые образованія вступаютъ при движеніи поршня. На фигурѣ представлено положеніе поршня въ дѣловой мертвой точкѣ. При движеніи его вправо дѣйствіемъ инерціи маховика, газовая смѣсь входитъ въ лѣвую часть цилиндра. Вместе съ поршнемъ движется вправо золотникъ E, который прекращаетъ впускъ смѣси, когда поршень пройдетъ  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{2}$  своего хода. Въ моментъ отбѣга газовая смѣсь воспламеняется, причемъ поршень продолжаетъ движеніе дѣйствіемъ силы взрыва. Въ концѣ всего хода поршни вправо золотникъ E<sub>1</sub> остается почти въ покое, сообщая правую часть цилиндра съ каналомъ G<sub>1</sub>, черезъ который продукты горѣнія уходятъ въ атмосферу. Къ концу хода поршни въ лѣвую часть золотникъ I<sub>1</sub> быстро передвигается влѣво, устанавливая сообщеніе лѣвой части цилиндра съ каналомъ G<sub>1</sub>, при чемъ золотникъ поршня и крышкой цилиндра остается часть продуктовъ горѣнія, которая играетъ роль буфера. Когда поршень войдетъ до правой мертвой точки, впускной золотникъ E, продолжавшій движеніе вправо, устанавливаетъ впускъ газовой смѣси въ правую часть цилиндра. Затѣмъ поршень и золотникъ начинаютъ двигаться влѣво дѣйствіемъ инерціи маховика. На  $\frac{1}{4}$  —  $\frac{1}{2}$  части хода прекращается впускъ смѣси и въ моментъ отбѣга производится снова воспламенение смѣси посредствомъ электрической искры.

Машины Ленуара строились отъ  $\frac{1}{4}$  до 20 силъ, но въ настоящее время почти вышли изъ употребленія, вѣдѣстые дорогихъ паровой лошади, такъ какъ онѣ требуютъ отъ 2,5 до 3 куб. м.



газа на 1 пар. лош. въ часъ; между тѣмъ какъ 1 куб. м. газа стоитъ почти въ 8 разъ дороже 1 klg. угля. Поэтому, хотя въ отношеніи утилизаціи тепла машина Ленуара имѣетъ преимущество передъ паровою, но работа ея, при существующихъ цѣнахъ на свѣт. газъ, обходится гораздо дороже работы паровой машины. Къ неудобствамъ машины Ленуара должно отнести еще потребность значительнаго количества холодной воды для охлажденія цилиндра, обильной смазки, частаго ремонта подвижныхъ частей машины, въ особенности золотниковъ, и необходимость содержанія электрической батареи въ постоянной исправности.

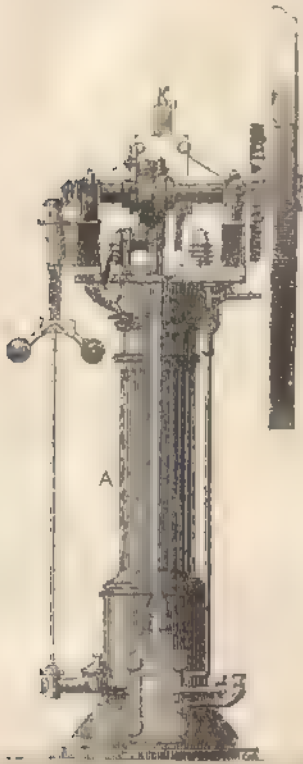
Внѣшней машинъ Ленуара была усовершенствована франц. инженеромъ Гюгономъ, машина котораго силою до 2 пар. лош. успѣшно работала на парижской выставкѣ 1867 г. Въ этой машинѣ зажиганіе смѣси, вмѣсто электрической батареи, произошло при помощи двухъ подвижныхъ запальниковъ, зажигающихся отъ постоянно горящихъ, по сторонамъ золотника, двухъ газовыхъ рожковъ (сверхъ того, для болѣе совершеннаго охлажденія стѣнокъ цилиндра, во внутрь послѣдняго вприскивалось, въ моментъ взрыва, небольшое количество воды, пары которой доставляли также работу расширеніемъ, что оградило насъ на уменьшеніи расхода газа до 2 куб. м. на лошадь. Такой же, все еще значительный, расходъ газа представляла машина Гюгона, работавшая на парижской выставкѣ 1878 г. и въ которой скорость движенія регулировалась центробѣжнымъ регуляторомъ, дѣйствовавшимъ на кранъ въ газопроводной трубѣ.

**337. Атмосферическая машина Лангена-Отто** Машина эта, появившаяся на парижской выставкѣ 1867 г., принадлежитъ къ числу самыхъ экономическихъ газ. машинъ: расходъ газа въ подобныхъ усовершенствованныхъ машинахъ Лангена-Отто равенъ отъ 0,75 до 1 куб. метр. въ 1 часъ на пар. лошадь. Принципъ дѣйствія этой машины основанъ на примѣненіи, какъ въ машинѣ Ньюкомена (§ 305), работы атмосфернаго давления, вследствие искусственно полученной пустоты, образующейся при сгораніи газовой смѣси.

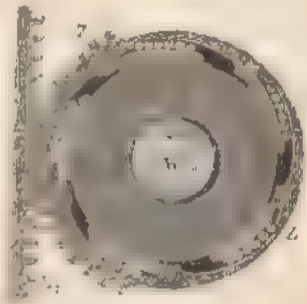
Устрой машины образуетъ пустая внутри чугунная колонна А, открытая сверху (фиг. 316) и играющая роль рабочаго цилиндра, имѣющаго двойныя стѣнки, между которыми постоянно протекаетъ холодная вода. Внутри цилиндра движется обыкновенный поршень, прочно соединенный съ зубчатою рейкою К<sub>1</sub>, замѣняющею штокъ и сѣбяющуюся съ зубчатымъ колесомъ Z, посаженнымъ на валъ маховика (фиг. 317).

Машина эта простаго дѣйствія: газовая смѣсь впускается только подъ поршень. Газораспределеніе производится однимъ плоскимъ золотникомъ, который при началѣ хода поршня впускаетъ въ цилиндръ газовую смѣсь, всасываемую движеніемъ поршня, а затѣмъ

зажигаетъ ее устройственнымъ въ немъ подвижнымъ запальникомъ. Надежащее движение золотнику сообщается при помощи эксцентрика, вращающаго на отдѣльный валъ, установленный сбоку, параллельно приводному валу, отъ котораго онъ получаетъ вращение при помощи пары цилиндрическихъ зубчатыхъ колесъ. Газъ приводится



Фиг. 316.



Фиг. 317.

къ золотнику тремя трубками, изъ которыхъ одна питаетъ цилиндръ, вторая питаетъ подвижный запальникъ, а третья — газовый рожокъ, постоянно горящій. При каждомъ зажиганіи газовой смѣси въ цилиндрѣ потухаетъ пламя подвижнаго запальника въ золотникѣ, но въ надлежащій моментъ вновь зажигается отъ постоянно горящаго рожка. При взрывѣ поршень подбрасывается къ верхней части цилиндра. Образующіеся при этомъ водяные пары весьма быстро

конденсируются подъ влияніемъ охлаждающей воды, причемъ обратный ходъ поршень совершаетъ подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса и атмосфернаго давленія при самомъ концѣ хода онъ выталкивается изъ цилиндра не сгустившіеся продукты горѣнія. Въ газоотводной трубѣ поставлены клапаны, поэтому продукты горѣнія должны потечь, до вытекка, упругости, большую атмосферной, чтобы открыть этотъ клапанъ. Остающаяся въ цилиндрѣ небольшая часть продуктовъ горѣнія играетъ полезную роль буфера, предупреждающаго ударъ поршня о дно цилиндра.

При движении поршня вверх и вниз зубчатая рейка К, сообщая круговое возвратное движение зубчатому колесу Z, которое передает приводному валу однако, только исчезающее движение быстрого же исчезающего движения поршня, при врыве газовой смеси, происходит только обратное холостое вращение колеса Z, приводной же вал продолжает однообразное круговое движение, благодаря инерции тяжелого маховика. Такая односторонняя передача достигается остроумным устройством зубчатого колеса Z. Оно состоит из загнутого на вал ведущего диска S, на который наложены 2 жестких дугообразных штифта К, движущихся скользяще вокруг этого диска. На валу есть штифты выходящие по шесту стальных роликов, которые снаружи охватываются зубчатцами вальсом Z, связанными на внутреннем диаметре грибами с шестереческими шарами. Вследствие этого устройство, при вращении вальса вправо, внутренняя же шестереческая поворачивается влево и штифты штифтовятся, нажимая на ролик, производя в шесте сильное трение между штифтами и роликом, что движущее колесо передает шесту, а шест, в валу маховика. При обратном же вращении поршня и зубчатого колеса штифты К свободно скользят по диску S, тогдашнее вращение зубчатого вальса Z.

Машина по тремлет особым шумом и она может быть даже прикреплена к тому же устройству. Нормальное число оборотов, в минуту не свыше 120 (при 120 в. м. мин., отбег штифты маховика вправо по одному в минуту). Различия в движении штифты маховика, особенно в значительном шуму, произведенном ими при трении роликов, вследствие трения и удара штифты штифтовятся особенно при быстром вращении. Машина сверху, где машина тремлет, штифты и смазки, а также штифты штифтовятся, которые должны быть, для увеличения трения, особенно штифты от штифтов, частого трения и штифты штифтовятся, для охлаждения штифтов. Не смотря на то машина эти штифты расширяет во многих странах Европы.

**338. Машина Отто.** На парижской выставке 1878 г. появилась газовая машина прямого действия Отто, основанная на новом принципе развития работы двигателя врыве газовой смеси, на штифты штифтовятся, для охлаждения штифтов.

Патентными патентами, сделаны с газовой машины Ледуара ясно показали, что по причине малое количество и незначительной плотности горючих газов, работа при их расширении получается ничтожная, большая часть теплоты развивающейся при врыве, теряется в воде, охлаждающей штифты штифтовятся. В машине Отто сильно сжатые предварительно (самой машиной) газы развивают штифты врыва большую упругость, а по причине значительной их плотности теплота распределяется на большее ко-

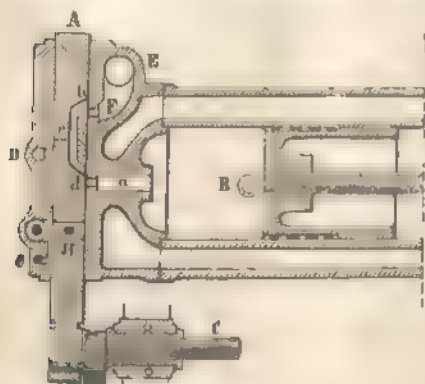
лнество частичекъ газа и не такъ скоро теряется охлажденіемъ стѣнокъ цилиндра, вследствие чего и работа расширения горячихъ газовъ выходитъ гораздо болѣе.

Общее устройство машины Отто напоминаетъ горизонтальную паровую машину простаго дѣйствія. Рабочий цилиндръ, открытый съ одной стороны, имѣетъ подвижныя стѣнки, между которыми циркулируетъ холодная вода. Внутріи его движется поршень, связанннй плотное металлическою лентою, состоящую изъ 5—6 гнательно пригнанныхъ колець—пружинъ. Поршень соединенъ съ длиннымъ валомъ маховика посредствомъ штока и шатуна, крестовина котораго съѣзжаетъ въ двухъ направляющихъ, укрѣпленныхъ съ стѣною въ рамѣ. Длина рабочаго цилиндра значительно больше величины хода поршня, такъ что онъ не доходитъ до дна цилиндра почти на половину длины своего размаха. Въ этой части цилиндра, наз. *мертвою точкою*, помещается сжимаемый объемъ газовой смеси, вмѣстѣ съ небольшимъ количествомъ остающихся несжатыми продуктовъ горѣнія. При движеніи поршня впередъ сжимается въ цилиндрѣ подѣ обыкновеннымъ давлениемъ, смесь во (ухи и сѣтъ) газа, а при обратномъ его ходѣ эта смесь сжимается до  $10 \frac{1}{2}$ , части своего первоначальнаго объема, причемъ поршень движется въ обоихъ случаяхъ только въ  $\frac{1}{2}$  диаметра маховика) колеса. Когда поршень, только что начинаетъ проходить свою мертвую точку, происходитъ зажиганіе смеси подвижнымъ запальникомъ, причемъ расширяющаяся газъ вызываетъ вырывъ газъ изъ маховика, съѣзжая впередъ, а маховое колесо присоединяется, по вышъ упадетъ запасъ силы. При обратномъ ходѣ поршень удаляетъ продукты горѣнія изъ цилиндра. Такимъ образомъ, въ работѣ машины Отто надо различать 4 періода: 1) всасываніе смеси 2) сжатіе ея, 3) взрывъ и 4) удаленіе продуктовъ горѣнія, соответствующее 4 ходамъ поршня, изъ которыхъ только одинъ производитъ полезную работу, а три остальные совершаются на счетъ инерціи маховика, который, конечно, долженъ быть весьма массивенъ и дѣлать большое чисто обороты въ минуту <sup>1)</sup>.

Газораспределительный механизмъ состоитъ изъ двухъ отдельныхъ частей. Впускъ и зажиганіе газовой смеси исполняются плоскимъ золотникомъ А (рис. 318) движущимся по главною обстроганной крышкѣ цилиндра и дѣлающимъ двойной ходъ въ течение 4 размаховъ поршня. Выхвѣтъ продуктовъ горѣнія производится отверстиемъ В, сдѣланнымъ въ нижней части цилиндра и закрытымъ клапаномъ. Золотникъ получаетъ движеніе отъ небольшого кривошипа, насаженнаго на конецъ отдельнаго вала С, который установленъ сбоку рабочаго цилиндра и получаетъ вращеніе отъ главнаго вала при помощи пары коническихъ колесъ. Выхвѣстной клапанъ,

<sup>1)</sup> Напр., для 4 сильной машины вѣсъ маховика равенъ 25 пуд.

открывающийся снизу вверх, приподымается своевременно особым колѣнчатым рычагомъ, получающимъ движеніе отъ кулачковаго эксцентрика, заклиненного на томъ же распределительномъ валу. Запираніе клапана производится автоматически при помощи пружины. Впускъ и зажиганіе газовой смеси производятся черезъ



Фиг. 318.

центральный каналъ а, сдѣланный въ крышкѣ цилиндра. Притокъ газа въ золотникъ происходитъ по каналу D, сдѣланному въ крышкѣ золотника, которая нажата къ нему посредствомъ двухъ крѣпкихъ пружинъ и 4 болтовъ; притокъ воздуха къ золотнику происходитъ по трубѣ E и каналу F. При соответственномъ движеніи золотника и поршня, газъ и воздухъ поступаютъ черезъ отверстія b и c колѣнчатого канала bed, сдѣланнаго въ золотникѣ и открывающагося къ

крышкѣ цилиндра отверстіемъ d. Въ моментъ, когда установится сообщеніе канала bd съ каналомъ а, газовая смесь всасывается въ цилиндръ (сквозной каналъ H, сдѣланный въ золотникѣ, служитъ запальникомъ—для передачи огня внутрь цилиндра. Притокъ свѣт. газа для питанія запальника происходитъ по каналу e, а зажиганіе производится постоянною горѣлкою, поставленною въ углубленіи золотниковой крышки.

Расходъ газа въ машинѣ Отто среднимъ числомъ равенъ 1 куб. м. въ 1 ч. на 1 пар. л. Такой сравнительно небольшой расходъ свѣт. газа, а также простота и компактность устройства, пламенный и тихій ходъ, легкость пуска въ ходъ, для чего достаточно зажечь газовый рожокъ въ крышкѣ золотника и повернуть несколько разъ маховикъ, ставятъ машину Отто въ практическомъ и экономическомъ отношеніяхъ выше всѣхъ существующихъ газовыхъ машинъ. Онѣ строятся силою отъ  $\frac{1}{2}$  до 12 пар. лоп.

Въ послѣднее время стали устраивать *одноцилиндровыя* машины системы *Отто*, въ которыхъ при каждомъ оборотѣ работаетъ одинъ поршень. Этотъ двигатель исполн. годенъ для динамо-машинъ.

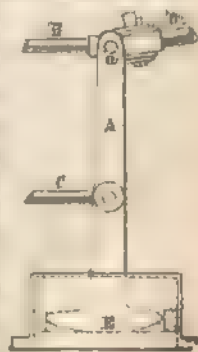
Изъ другихъ газовыхъ машинъ, работающихъ сжатымъ газомъ, наиболѣе замѣательна машина шотландскаго инж. *Гирда*, какъ по простотѣ и компактности ея конструкции, сходной съ горизонтальною паровою машиною, такъ и по величинѣ работы, которую она въ состояніи развить (отъ  $\frac{1}{2}$  до 50 пар. л.).

**339. Нефтяныя машины.** Въ нефтяныхъ машинахъ работа

производится упругою силою горячих газовъ, образующихся при сжиганіи жидкихъ углеводородовъ (легкихъ нефтяныхъ маселъ: газоліпа, сыраго бензина, лигроина и др.), получающихся при перегонкѣ нефти.

Нефтяныя машины, представляя вообще большую аналогію съ kalorическими и газовыми машинами, имѣютъ преимущество передъ газовыми въ томъ отношеніи что не зависятъ отъ присутствія въ данной мѣстности свѣтлплаго газа <sup>1)</sup>. Въ отношеніи экономіи работы нефтяныя машины, съ усовершенствованіемъ ихъ конструкціи, позволяющей примѣнять въ это самое дешовые сорта нефтяныхъ продуктовъ, могутъ занять несомнѣнно первое мѣсто между маселными моторами. Къ числу специальныхъ недостатковъ нефтяныхъ машинъ относится необходимость большой осторожности при обращеніи съ легкими нефтяными маслами, но причиняетъ большіе ихъ летучести и способности легко воспламениться.

Между существующими нефтяными машинами, по общирному практическому примѣненію, простотѣ конструкціи и экономіи работы, первое мѣсто занимаетъ горизонтальная машина *Брастона*, получившая на парижской выставкѣ 1878 г. золотую медаль. Работа въ этой машинѣ получается безъ всякаго участія пара, а только вследствие сжиганія горячихъ газовъ, образующихся при постепенномъ сгораніи, но мѣрѣ притока въ цилиндръ воздуха, насыщеннаго жидкими углеводородами. Машина Брастона двойнаго дѣйствія съ горизонтальнымъ цилиндромъ, внутри котораго движется чугунный поршень, передающій свое движеніе, посредствомъ двухъ эксцентричныхъ штокoвъ и шатуна, колѣчатому валу маховика. Подъ рабочимъ цилиндромъ помещенъ другой цилиндръ, исполняющій роль насоса, накачивающаго сжатый воздухъ въ рабочий цилиндръ. Весьма остроумную часть этой машины представляетъ способъ передачи движенія штоку воздушнаго насоса, значительнo упрощающій ея конструкцію. Оба поршневые штока В.В. (фиг. 319) и шатунъ D надеты на общую ось а, пропущенную черезъ верхній вилкообразный конекъ вертикальнаго рычага А, къ которому прикрѣпленъ также штокъ С пневмати-



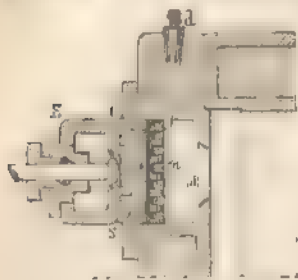
Фиг. 319.

<sup>1)</sup> Примѣненіе вмѣсто свѣт. газа карбурованнаго воздуха, т. е. воздуха, насыщеннаго парами легкихъ углеводородовъ (нефтяныхъ дистилатовъ: газоліпа, бензина и проч.), хотя и могло бы повліять на повсемѣстное распространеніе газовыхъ моторовъ, но вследствие необходимости для карбюрации воздуха особаго прибора, а также по причинѣ дороговизны употребляемыхъ для этой цѣли жидкихъ углеводородовъ, которые должны быть болѣе легки и болѣе чисты, нежели употребляемые для нефтяныхъ машинъ, работа машинъ, дѣйствующихъ карбурованнымъ воздухомъ, выходитъ значительно дороже работы нефтяныхъ машинъ.



ческого насоса. Нижний конец рычага имеет цилиндрическую форму и свободно опирается на плоскость Е, такъ что при его качании конец штока В всегда описываетъ горизонтальную прямую линию. Такимъ образомъ передающий рычагъ А играетъ въ тоже время роль направляющихъ для штока.

Въ верхнихъ частяхъ каждой изъ крышекъ устроены камеры М (фиг. 320), служащія для впуска смеси воздуха и нефтяного



Фиг. 320.

масла. Въ этихъ камерахъ помѣщаются резиновые диафрагмы и состоятъ изъ двухъ металлических литыхъ пластинокъ, между которыми помѣщена тонкая проволочная сѣтка. Кольцообразное пространство и заполнено жидкимъ масломъ и, въ зазорѣхъ въ ней нефть, которая постоянно накачивается по каналу *z* особымъ насосомъ, получающимъ движение отъ эксцентрика, вращающагося на главномъ валу машины. Воздухъ изъ воздушнаго насоса притекаетъ въ камеру К, откуда выходитъ сильною струею черезъ отверстие и, притокъ воздуха регулируется коническимъ клапаномъ, открывающійся особымъ рычагомъ, получающимъ движение отъ эксцентричнаго регулятора. Струя воздуха, выходящая изъ отверстия и, пережимаетъ нефть изъ кольца да сѣтку (диафрагму), въ видѣ пыли которая запыляется и въ цилиндръ. Наполненъ, тонкая струя воздуха при стабильномъ состоянии по каналу *l*, пылевая струя протѣкаетъ небольшое количество нефти съвоею диафрагмою и; тонкая струя эта горючая смесь всасывается за диафрагмою черезъ отверстие, закрытое винтовымъ пробокъ *d*, и не поджигаетъ уже во время работы машины, образуя родъ постоянной внутренней горѣлки. Отработавшее газы удаляются поршнемъ черезъ отверстие въ крышкѣ цилиндра снабженныя клапанами. Оболочка цилиндра рабочая и воздушная имѣютъ двойныя стѣны, между которыми по тонкой трубкѣ течетъ холодная вода.

Работа машины сходна съ работою паровой машины двойнаго дѣйствія съ расширеніемъ. Нефтяной насосъ постоянно всасываетъ горючую жидкость по каналу *z* въ цилиндръ, а воздушная по каналу *l* воздухъ, поддерживающій за металлическою сѣткою небольшое пламя во все время работы машины. При началѣ хода поршня (вправо) открывается воздушный каналъ и сильная струя воздуха, прошившись своею сѣткою и пропитавшись горючими углеводородами, сейчасъ же затвораются поршень движется подъ давлениемъ горячихъ газовъ. Приблизительно на  $\frac{1}{4}$  хода клапанъ и закрывается, вследствие чего прекращается дальнейшій притокъ воздуха, а также и пылевая нефть. поршень продолжаетъ дви-

гаться уже подъ влиянием расширяющихся газовъ. При обратномъ движеніи поршня работа расширения производится въ правой части цилиндра, а продукты горѣнія изъ лѣвой части выталкиваются въ отводную трубу.

Машины Брайтона строятся отъ  $\frac{1}{2}$  до 10 и болѣе пар. лощ. Они отпигиваются быстрымъ ходомъ, очень спокойны и экономичны, расходъ нефтяной жидкости составляетъ менѣе 0,5 литра на 1 пар. л. въ часъ.

**340. Источники динамическаго электричества.** 1) Въ приборахъ, служащихъ для образованія электрическаго тока, могутъ быть раздѣлены на три класса 1) *химическіе элементы и батареи*, въ которыхъ химическая энергія превращается въ электрическую, 2) *термодинамическія батареи*, превращающія непосредственно теплоту въ электричество и 3) *электродинамическія машины*, превращающія механическую работу (паровыхъ машинъ, турбинъ) въ электрическую энергію.

1) Около 600 л. до Р. X. *Галлея* изъ Милана замѣтилъ, что если потереть *янтарь* (трѣхъуголь) то онъ приобретаетъ свойство притягивать легкія тѣла. Въ концѣ XVI в. докторъ *Джесбертъ* (изъ Коллестри) открылъ, что тѣмъ же свойствомъ обладаютъ многія тѣла (стекло, резина, шелкъ, смѣла, алмазъ и пр.). Тѣла эти онъ назвалъ *электрическими* а причину, производящую эти явленія, *электричествомъ*. Въ 1733 г. ф-физикъ *Дюфа* открылъ существованіе двухъ родовъ электричества *положительнаго* проявляющагося на стеклѣ при трірованіи (то шелкомъ, и *отрицательнаго*, проявляющагося на янтарѣ или resinѣ при трірованіи ихъ фланелью). Онъ же установилъ факты притяженія разноименныхъ и отталкиванія одноименныхъ электричествъ. Это электрич. тѣла, развиваемые тріеніемъ, наз. *статическимъ* электричествомъ. Первою электрическаю машиною была построена (*Антонъ Герике*), она состояла изъ вращающагося шарообразнаго куска сѣры, который подвергался тріенію обѣя ладонь руки. Въ концѣ 23 вѣковъ, д. концѣ XVIII ст., было изобрѣтено гальвановъ тѣлескопъ электричества, которое не имѣло почти никакихъ техническихъ примѣненій. Но съ открытіемъ въ 1790 г. *Гальвани* въ 1790 г. *динамическаго электричества* и другимъ ит. ф-физикомъ *Вольта* перваго генератора динамическаго электричества *вольтова столба* (1800 г.) начинается эра безчисленныхъ и плодотворныхъ примѣненій *электрическаго тока*. Вольфгангъ столба Вольта были изобрѣтены наиболее употребительные нынѣ гидроэлектрическіе генераторы тока, или такъ наз. *элементы* (Вольтова столба) *Дандела* (1836) *Гресса* (1837) *Бунзена* (1840), *Мадзе* *Данса* (1849), *Лекланше* (1866) и др. Въ концѣ 1820 г. датскій физикъ *Эрстедъ* показывалъ что электричскій токъ и магнитъ производятъ одинаковую дѣйствія на магнитную стрѣлку. Это открытіе установило полную аналогію между электричествомъ и магнетизмомъ, послужило исходною точкою цѣлому ряду открытій въ этихъ двухъ областяхъ физики. Въ томъ же году 20 сентября *Амперъ* открылъ *взаимодѣйствіе токовъ* и дѣйствіе земли на токъ, а пять дней спустя *Драва* открылъ дѣйствіе тока въ на мѣдн. желѣзѣ или сталѣ, пошедшее къ устройству *электромагнитовъ*. Наконецъ въ довершеніе работъ Эрстеда, Ампера и Араго, англ. физ. *Фарейдъ* открылъ въ 1831 г., что если приблизить къ тріо магнитъ къ катушкѣ, оматанной изолир-ванною проволокой, то въ катушкѣ по является токъ; если затѣмъ остановить магнитъ токъ исчезаетъ; а при удаленіи магнита появляется снова, но въ направленіи, обратномъ предыдущему.



торомъ разиваются наведенные токи <sup>1)</sup>. Заставляя вращаться индукторъ передъ индукціоннымъ аппаратомъ, или чаще, послѣдній передъ первымъ, получаютъ токи, тѣмъ болѣе сильныя, чѣмъ болѣе скорость вращенія. Въ магнитоэлектрическихъ машинахъ индукторомъ служатъ простой магнитъ въ динамомашинахъ электромагнитъ. Мы рассмотримъ устройство динамомашины, получившихъ на практикѣ исключительное распространение, какъ электрическіе двигатели.

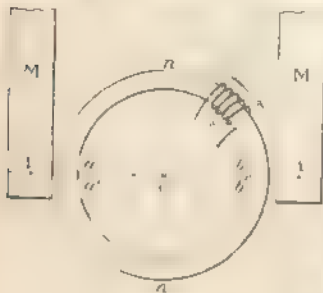
*Динамо-машины* раздѣляются на машины постоянного тока и машины переменнаго тока. Первые посылаютъ во вѣншую цѣль токъ одного и того же направленія, у вторыхъ же направленіе тока (составнаго изъ многихъ токовъ, собираемыхъ съ отдѣльныхъ индукціонныхъ аппаратовъ *катушекъ*) мѣняется непрерывно (до 3000) разъ въ минуту. Чтобы получить отъ машины переменнаго тока постоянный токъ, ее снабжаютъ *коммутаторомъ* приборомъ, направляющимъ отдѣльные токи въ одну и ту же вѣншую цѣль.

*Динамо-машины* различаются еще способомъ возбужденія тока въ индукторѣ (въ обмоткѣ электромагнита). Въ некоторыхъ динамомашинахъ (переменнаго тока для питанія ламп *Ноблочкова*) это возбудженіе производится особою электрическою машиною, наз. *возбудителемъ*, но въ большей части ихъ оно производится самою динамомашиною, которая наз. тогда *самовозбудящеюся*. Принципъ самовозбужденія былъ открытъ въ 1867 г. одновременно *Диттономъ* и *Симксомъ*, которые показали, что если соединить обмотку электромагнита (индуктора) съ обмоткою индукціоннаго аппарата, то при вращеніи послѣдняго въ немъ возбудается слабый индукціонный токъ, отъ незначительнаго *остаточнаго магнетизма* въ электромагнитѣ. Токъ этотъ, будучи переданъ обмоткѣ электромагнита, усиливъ его магнетизмъ, вследствие чего въ индукціонномъ аппаратѣ возбудятъ болѣе сильные токи и такимъ образомъ происходитъ рядъ взаимодѣйствій, который постепенно увеличиваетъ *силу тока* до нормальной его величины. Существуютъ динамомашины, въ которыхъ примѣнены обѣ системы возбужденія — отдѣльный возбудитель и самовозбуденіе, такая машина наз. *компаундою машиною*.

<sup>1)</sup> Первый изчислительный опытъ примѣненія электричества для произведенія механической работы былъ дѣланъ въ 1800 г. русск. академикомъ *Нобби* который примѣнилъ батарею Льюи въ 120 элементовъ для движенія шара по Нерзі. Съ тѣхъ поръ было сдѣлано весьма много попытокъ, но вслѣдствіе изложенныхъ выше недостатковъ для г. вѣны единицы работы и расходовъ на батареи — электрические двигатели питанные отъ батарей и имѣли до сихъ поръ лишь весьма ограниченное примѣненіе, именно только для такихъ случаевъ, когда требуется развитіе работы, не превышающей нѣсколькихъ килограммъ-метровъ, какъ напр. для движенія швейныхъ машинъ (двигатель *Гриссона*) и т. п.

**341. Динамо-машина Грамма.** Машины Грамма строятся постоянного и переменного тока: последние изготовляются исключительно для питания свѣчей Н. Лоджона и потому разсмотрѣніе ихъ выходитъ изъ рамокъ настоящаго курса.

Существенную часть машины Грамма постоянного тока составляетъ такъ наз. *кольцо Грамма*<sup>1)</sup>, сдѣланное изъ мягкаго жельза, обернутаго спиралью изъ изолированной мѣдной проволоки, и представляющее *индукционный аппаратъ* машины. Для уясненія принципа дѣйствія машины Грамма предположимъ, что кольцо помещено между двумя концами поперечнаго магнита МВМ (фиг. 321) такимъ образомъ, что его горизонтальный диаметръ со-



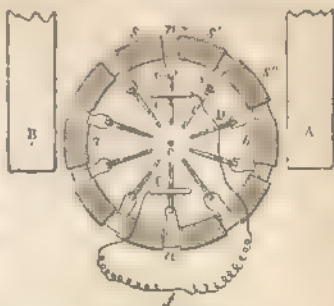
Фиг. 321.

падаетъ съ линіею АВ, соединяющей полюсы магнита. Последний намагнититъ черезъ влияние жѣлезное кольцо и притомъ такимъ образомъ, что въ последнемъ образуются два двойныхъ полюса  $а,а'$  и  $б,б'$ , обратныхъ полюсамъ В и А магнита. Въ  $а$  и  $а'$  будутъ нейтральныя точки. Вообразимъ теперь, что на кольцо намотана небольшая спираль  $\gamma$  изъ изолированной мѣдной проволоки и что этой спирали сообщаются небольшія последовательныя перемѣщенія по кольцу по направленію стрѣлки. Соединимъ концы

спирали съ гальванометромъ, замѣтимъ, что при всякомъ перемѣщеніи спирали въ ней появляется наведенный токъ, направленіе котораго останется постояннымъ въ теченіе полукруглота  $а,б,б',а'$ ; въ теченіе же полукруглота  $а',а,а,б$  направленіе тока обратное предыдущему. Сила тока въ обоихъ случаяхъ тѣмъ меньше, чѣмъ дальше витокъ отстоитъ отъ индуктирующихъ полюсовъ. Если теперь вмѣсто того чтобы заставлять спираль скользить по кольцу, мы заставимъ это послѣднее вращаться около оси О, перпендикулярной къ его плоскости, то произойдутъ тѣ же явленія: полюсы  $а$  и  $б$  будутъ существовать въ тѣхъ же неподвижныхъ точкахъ и спираль будетъ перемѣщаться по отношенію къ нимъ совершенно также, какъ и прежде. Намотаемъ затѣмъ на кольцо цѣлый рядъ спиралей, подобныхъ  $\gamma$  (фиг. 322). При вращеніи кольца въ каждомъ виткѣ индуктируется токъ и такимъ образомъ количество электричества, наведенное въ обмоткѣ кольца, значительно увеличится. Если соединимъ между собою витки правой полуокружности, то отдѣльные токи этихъ витковъ, слагаясь одинъ съ другимъ, дадутъ общій

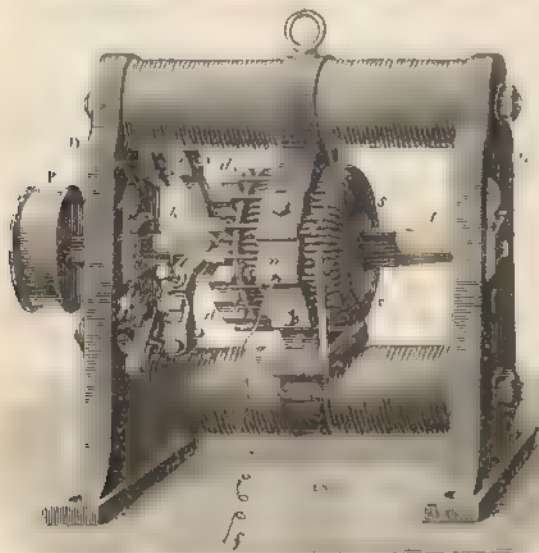
<sup>1)</sup> Кольцо это было изобрѣтено г. Лоджемъ въ 1861 г. и применено къ устройству электромагнитной машины Граммы представлять часть усовершенствованнаго примѣненія какъ этого кольца, такъ и принципа самъ-возбужденія къ устройству динамо-машинъ.

токъ, равный силою суммѣ всѣхъ ихъ: точно также въ соединенной обмоткѣ лѣвой половины кольца будетъ проходить токъ, равный суммѣ всѣхъ наведенныхъ въ каждомъ отдельномъ виткѣ токовъ. Оба эти тока будутъ, очевидно, равны по величинѣ, но направлены противоположно другъ другу. Чтобы собрать токи, наведенные въ спираляхъ, припаиваютъ къ концу одной (спирали и началу другой (смежной) мѣдныя радіальныя пластинки  $D, D', \dots$ , которые участвуютъ во вращательномъ движеніи кольца; а въ точкахъ  $C$  и  $C'$  устанавливаютъ по нейтральной линіи  $nn'$  два металлическихъ неподвижныхъ контакта, съ которыми постоянно соприкасается та или другая изъ радіальныхъ пластинокъ. Такимъ образомъ контакты будутъ непрерывно собирать составные токи, доставляемые лѣвой и правой половиною обмотки кольца, оба эти тока сольются въ одинъ составной токъ во виллн-немъ проводникѣ  $f$ .



Фиг. 322.

342. Въ машинѣ Грамма (фиг. 323) вмѣсто магнитовъ упо-



Фиг. 323.

требляють въ качествѣ индукторовъ два электромагнита  $AB$  и  $A'B'$ , такъ какъ магнитное дѣйствіе ихъ, при одинаковомъ вѣсѣ, почти



въ 25 разъ больше дѣйствія простыхъ магнитовъ. Электромагниты АВ, А'В' укрѣплены въ вертикальныхъ чугунныхъ стойкахъ D, D', образующихъ станину машины: одноименные полюсы ихъ А, А' и В, В' заключены въ оправкахъ  $\alpha$  и  $\beta$ , сдѣланныхъ изъ мягкаго жѣлѣза. На горизонтальной оси О, параллельной осямъ электромагнитовъ и проходящей по срединѣ между ними, установлено *кольцо Грамма ss*. Въ радиальныхъ пластинкахъ  $d, d'$ ... этого кольца изогнуты вѣтви подъ угломъ, такъ что концы ихъ, параллельные оси О, образуютъ цилиндръ k; промежутки между элементами этого цилиндра заполнены изолирующею прокладкою. Совокупность пластинокъ dk образуетъ собою такъ наз. *коллекторъ*. Быстрое вращательное движеніе кольцо и коллекторъ получаютъ отъ шкива Р, насаженнаго на лѣвомъ концѣ оси О. Для соирани съ коллектора возбуждаемаго въ кольцо тока установлены два контакта с и с', прикасавшіеся постоянно къ тѣмъ производящимъ коллектора, которые находятся въ вертикальной плоскости. Каждый контактъ состоитъ изъ пучка гибкихъ медныхъ пластинокъ и наз. *щеткою*, которая, во избежаніе перерыва тока, располагается такъ, чтобы касаться одновременно нѣсколькихъ пластинокъ коллектора. *Щетки анодно-машины* соответствуютъ полюсамъ батареи и наз. одна *положительною*, другая *отрицательною*. Принимая, что внутри машины токъ идетъ отъ отрицательной щетки къ положительной, а во внешней цепи отъ положительной къ отрицательной. Отъ щетки с токъ идетъ во внешнюю цепь по проводу f, другимъ концъ которой долженъ быть соединенъ съ отрицательною щеткою с'. Наконецъ, токъ, необходимый для возбужденія электромагнитовъ, отбѣивается отъ главнаго тока при помощи проволоки g, которая наматывается последовательно на катушки AA' и ВВ' электромагнитовъ.

Динамо-машина, представленная на фиг. 323, требуетъ при 900 обор. въ м., около 3 в. л. и можетъ питать 25 лампъ накалыванія Эдисона, по 16 свѣчей каждая. На заводѣ Грамма устроены машины, требующія отъ 1,5 в. л. (для 10 лампъ Эдисона) до 65 в. л. (для 500 л. Эд.).

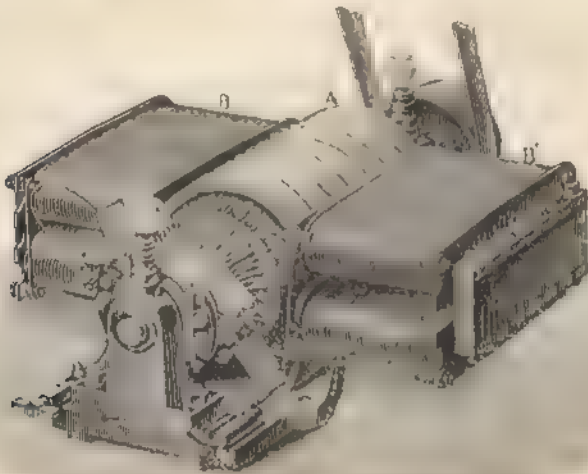
Машины, изготовляемыя Граммомъ для передачи механической работы на расстоянія, имѣютъ форму, нѣсколько отличную отъ представленной на фиг. 323, но главныя составныя части ихъ тѣ же самыя.

**343. Динамо-машина Сименса <sup>1)</sup>** (фиг. 324) Главнѣйшій недостатокъ кольца Грамма состоитъ въ томъ, что внутренніе части его обмотки почти совсѣмъ не подвергаются индуктирующему дѣй-

<sup>1)</sup> Машина эта была конструирована инж. заводомъ Сименса, *Гесфнеръ Ан-теискомъ*, который впервые применилъ въ ней индукціонный аппаратъ, изобрѣтенный Сименсомъ еще въ 1856 г.

ствію электромагнитовъ, представляя собою напрасное сопротивленіе. Въ индукціонномъ аппаратѣ *А* (*катушка*) машины Сименса эта потеря устранена въ значительной части тѣмъ, что кольцо замкнуто длиннымъ цилиндрическимъ стержнемъ (изъ мягкаго жельза), на который проволока намотана по направлению его производящихъ. Обмотка катушки Сименса состоитъ изъ восьми отдѣльныхъ частей (*секцій*) и снабжена коллекторомъ и щетками, совершенно подобными грамовскимъ. Для возбужденія электромагнитовъ *В* и *В'* отъ главнаго тока отбѣвляется побочный токъ.

Машины Сименса (постояннаго тока) строятся двухъ типовъ: *горизонтальная* (фиг. 324) — съ горизонтальными электромагнитами,



Фиг. 324.

**344. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія динамо - машинъ и уходъ за ними.** Коэффициентомъ полезнаго дѣйствія электрической машины наз. отношеніе развиваемой ею электрической энергіи къ механической работѣ, затрачиваемой на ея движеніе. Въ большинствѣ динамо машинъ онъ достигаетъ 90%. Главныя потери энергіи — *трение съ оси* и такъ наз. *токи Фуль*, которые неизбежно возбуждаются въ жельзѣ электромагнитовъ и индукціонныхъ аппаратовъ. Однако не всю электрическую энергію, развивающуюся въ динамо-машинѣ мы можемъ воспользоваться во внѣшней цѣли. Большая или меньшая часть ея превращается въ самой машинѣ въ теплоту, вследствие сопротивленія обмотки ея. Относительная и *вертикальная*, у которыхъ электромагниты расположены вертикально — одинъ подъ катушкою, другой надъ нею

величина этой потери уменьшается съ уменьшеніемъ сопротивленія машины — съ увеличеніемъ ея размѣровъ.

Что касается *установки и ухода за динамо-машинами*, то ихъ должно устанавливать въ сухихъ помѣщеніяхъ на прочномъ фундаментѣ, для избежанія всякихъ сотрясеній. Брашнѣ катушки должны быть по возможности равномерное. Главная работа ухода состоитъ въ недопущеніи значительнаго нагрѣванія машины и содержаніи ея, въ особенности коллектора въ возможно болѣе чистой. Наконецъ, во избежаніе порчи обмотки катушекъ, когда не слѣдуетъ внезапно размыкать главный токъ, не останавливали предварительно машины.

**345. Электрическая передача работы на разстояніи.** Электрическая передача работы на разстояніи основана, такъ было замѣчено выше (§ 85), на *обратимости динамо-машины*: машина приведенная во вращеніе, производитъ токъ, и, наоборотъ, если ей сообщить токъ, то индукционный аппаратъ ея начнетъ вращаться. Такимъ образомъ, если соединить одну динамо-машину (*машину генераторъ*), приводимую во вращеніе паровою машиною или турбиною, съ другою динамо-машиною (*машинотрималкой*) то черезъ изолированную проволоку, и, то токъ, развивающійся въ первой машинѣ, передается второй машинѣ и приведетъ ее въ вращательное движеніе. Вторая машина, въ свою очередь, можетъ привести въ движеніе какую нибудь рабочую машину (станокъ).

*Первый опытъ* въ этомъ направленіи былъ произведенъ на всепской выставкѣ 1873 г. Фонтаномъ и Граммомъ. Они выставили машину-генераторъ Грамма, приводимую въ движеніе паровою машиною Ленуара, вращать при помощи второй динамо-машины, помѣщенной на разстояніи 1000 м., небольшой центробѣжной насосъ. Съ тѣхъ поръ промышленныя примѣненія динамо-машинъ для передачи работы на небольшія разстоянія чрезвычайно умножились. Существуютъ многія мастерскія (общества Грамма въ Парижѣ, ремесленной школы въ С. Шамонѣ, пушечной фабрики завода въ Руотѣ и др.), въ которыхъ ременная передача замѣнена электрическою. Изъ отдѣльных примѣровъ электрической передачи укажемъ на примѣненіе ея для дѣйствія *подъемныхъ крановъ* (на заводѣ Фарко въ С. Дея), *вентиляторовъ* (для вентиляции городской ратуши въ Парижѣ и центральной школы искусствъ и ремеселъ), *для тѣн вагоновъ въ каменноугольныхъ кояхъ въ Анжелѣ* (въ С. аксови), *для тѣн пассажирскихъ вагоновъ на электрической желѣзной дорогѣ*, устройствомъ Симменсомъ въ 1885 г. въ Брюсселѣ на протяженіи 10,5 километровъ и т. п. Какъ показываютъ опыты, пользование электрической передачею сопровождается потерей приблизительно въ 50<sup>ю</sup> %.

Что же касается электрической передачи работы на *большія разстоянія*, то въ экономическомъ отношеніи вопросъ этотъ еще далекъ отъ окончательнаго разрѣшенія.

### III.

## РАБОЧИЯ МАШИНЫ.

**346. Классификація рабочихъ машинъ.** Подъ именемъ *рабочихъ машинъ* разумѣютъ машины, имѣющія непосредственное назначеніе производить ту или другую операцию, входящую въ составъ какого-либо процесса производства. Для своего движенія рабочія машины пользуются работою какой-либо машины-двигателя, которая передаетъ имъ съ извѣстной потерей, при помощи привода, такъ называемый, въ отношеніи къ фабрикамъ или заводу, движущій въ основаніи данного техническое производство, рабочія машины играютъ роль исполнителей механизмовъ, но вѣдѣя отъ того, въ свою очередь распадаются, какъ и всякая машина, на три главныхъ составныя части: 1) приемникъ (рабочій шкивъ, расцѣпное колесо и т. п.), 2) передаточные механизмы и 3) исполнительный механизмъ или собственно *орудіе* (рѣзакъ, пила, рабочий поршень и т. п.). Устройству рабочихъ машинъ чрезвычайно разнообразно и поэтому весьма сложно, обуславливаясь целью той механической операціи, для исполненія которой машина назначена, но все рабочія машины могутъ быть разделены, по ихъ назначенію, на нѣсколько большихъ группъ: 1) *машины для передвиженія тѣлъ* и 2) *машины для измѣненія ихъ вида*.

Машины первой группы въ свою очередь распадаются на слѣдующее три класса. 1) *подъемныя машины*, служащія для передвиженія и подъема твердыхъ и сыпучихъ тѣлъ (*рычаги, блоки, полиспасты, домкраты* ручные и гидравлические, *шпильи, ворота и краны*, ручные, гидравлические и паровые, *элеваторы* или механизмы, служащіе для подъема сыпучихъ матеріаловъ, товаровъ, хлеба, угля и руды....), 2) *водоподъемныя машины* или машины для передвиженія и подъема воды (*молосы* всякаго рода, *тирволивскій баранъ, пульзометръ*.....) и 3) *воздуходувныя машины* или машины для передвиженія воздуха (*воздуходувки, вентиляторы*.....)

Къ машинамъ второй группы относятся: 1) машины для измельченія тѣлъ (мукомольныя машины, бѣлуны, тодчен, дробильныя вилки...); 2) машины для грубой и чистой обработки металловъ и дерева (гидравлическій прессъ, молота, ручныя, рычажныя и паровыя, прокатныя и волочильныя машины, лесопиленныя машины, станки: токарныя, сверлильныя, строгательныя, долбежныя..., винторѣзные и дыропрошивательныя машины...); 3) станки для обработки шерсти, льна, хлопка и бумаги (волокъ-машины, ткацкія станки, ленточныя и кардъ-машины, вязальныя, швейныя машины...); 4) земледѣльческія машины (сѣялки, жатковныя машины, снокосилки, вѣялки, молотилки, соломорѣзки...).

Изученіе этихъ машинъ относится къ области механической технологии и сельскохозяйственной механики, подробно разсматривающихъ тѣ операнія, которыя исполняются этими машинами. Въ двухъ слѣдующихъ главахъ мы ознакомимся съ водоподъемными машинами и мукомольнымъ поставомъ, представляющими примѣры пользованія механическою работою, имѣющіе наиболѣе общій интересъ.

## ГЛАВА XV.

### Водоподъемныя машины.

#### Мукомольный поставъ.

**Насосы.** — Водоподъемные насосы. Ручной всасывающій насосъ. — Объемъ воды, поднимаемый всасывающимъ насосомъ въ сек., и работа, потребная для его движенія. — Насосъ съ утопленнымъ вѣнкомъ. — Гравитационная разсѣлка воды. — Нагнетательные насосы, воздушный колоколъ. — Пожарный насосъ. — Объемъ воды, нагнетаемый нагнетательнымъ насосомъ въ сек., и работа, потребная для его движенія. — Центробѣжныя помпы. — Круговращательные насосы. — Архимедовъ винтъ. — Гидравлическій прессъ. — Пульсометръ. — Мукомольный поставъ и его части. — Задачи.

**347. Насосы** Всѣ существующіе насосы могутъ быть раздѣлены на два класса: 1) насосы съ прямолинейнымъ движениемъ и 2) насосы съ вращательнымъ движениемъ. Къ послѣднимъ относятся центробѣжныя помпы и такъ наз. круговращательные насосы.

Насосы съ прямолинейнымъ движениемъ представляютъ наиболѣе употребительныя водоподъемныя машины и состоятъ, каждый изъ чугунаго или деревяннаго цилиндра (стакана), въ которомъ плотно движется поршень, и одна или двѣ пары, снабженныхъ клапанами и сообщающихъ стаканы, одна съ нижнимъ, а другая съ верхнимъ резервуаромъ. Первая грубо наз. всасывающею, а вторая — нагнетательною или погонною; тѣже названія получаютъ и ихъ кла-

паны. Въ томъ случаѣ, когда стаканъ насоса погруженъ въ нижній резервуаръ, всасывающая труба становится излишнею; ея и не дѣлаютъ, но всасывающій клапанъ существуетъ и въ этомъ случаѣ. По устройству поршня эти насосы можно раздѣлить на два типа: 1) *насосы со сквознымъ поршнемъ* и 2) *насосы съ дугимъ* (сплошнымъ) *поршнемъ*. Перваго рода насосы наз. обыкновенно *всасывающими*, а втораго рода — *нагнетательными*. Отверстия, дѣлаемые въ поршень насоса перваго рода, снабжаются клапанами, такого рода насосы могутъ быть только *проточны* дѣйствія, между тѣмъ какъ нагнетательные насосы могутъ быть и *проточны* и *овоинны* дѣйствія. У всасывающихъ насосовъ иногда не бываетъ подъемной трубы: вода изъ стакана выливается прямо въ верхній резервуаръ.

По способу передачи движущаго поршня насосы раздѣляются на: 1) *рычжные насосы* (фиг. 325), приводимые въ движеніе рабочимъ при помощи рычага или рукоятки съ маховикомъ и зубчатой передачею, 2) *приводные насосы*, приводимые въ движеніе вращательнымъ движениемъ на главномъ валу паровой машины (фиг. 290 и 309), или получающие движеніе отъ передаточнаго вала при помощи ремняго привода и т. п., 3) *паровые насосы*, получающие движеніе непосредственно отъ продолженнаго штока паровой машины.

**348. Всасывающіе насосы** (фиг. 325, продольный разрѣзъ). А — есть чугунный цилиндръ (*стаканъ*) насоса. В — *поршень*, снабженный клапанами *б, в*, открывающимися снизу и вверхъ. (— *всасывающая труба*; а — *всасывающій клапанъ*, открывающийся внутрь стакана.)

При началѣ дѣйствія насоса, когда поршень находится въ нижнемъ положеніи, все клапаны закрыты; всасывающая труба, а также зазоръ, существующій между всасывающимъ клапаномъ и поршнемъ, или такъ наз. *среднее пространство*<sup>1)</sup>, наполнены воздухомъ, нѣтъ ни атмосферное давленіе. Вслѣдствіе этого вода во всасывающей трубѣ стоитъ на одномъ уровнѣ съ нижнимъ резервуаромъ. Положимъ, что поршень сдѣлалъ полный размахъ вверхъ. При этомъ воздухъ, находившійся во вредномъ пространствѣ расширится; но такъ какъ давленіе во всасывающей трубѣ равно атмосферному. Если разность давленій снизу и сверху на всасывающій клапанъ будетъ больше его вѣса, то онъ откроется, причемъ часть воздуха изъ всасывающей трубы перейдетъ въ



Фиг. 325.

<sup>1)</sup> Какъ и въ паровыхъ машинахъ, *среднее пространство* насосовъ, оставляется съ цѣлью устранить удары поршня о дно стакана, могущіе произойти, напр., вслѣдствіе увеличенія длины штока и другихъ случайныхъ причинъ.



стаканъ; давленіе въ трубѣ понизится. вслѣдствіе чего вода въ ней поднимется на нѣкоторую высоту. При обратномъ движеніи поршня воздухъ, находящійся въ стаканѣ, начнетъ сжиматься, всасывающій клапанъ закроется, а поршневые откроются, когда давленіе сжимаемого воздуха сдѣлается болѣе атмосфернаго, и выпустятъ часть воздуха изъ нижней части цилиндра, такъ что когда поршень дойдетъ до самаго нижняго своего положенія, то воздухъ во вредномъ пространствѣ опять будетъ имѣть давленіе атмосферное, какъ и при началѣ перваго восходящаго движенія. При слѣдующемъ размахѣ воздухъ во всасывающей трубѣ еще болѣе разрѣдится, вода поднимется въ ней на болѣшую высоту и т. д.

На фиг. 125 представленъ тотъ моментъ, когда изъ всасывающей трубы выкачанъ уже весь воздухъ, и вода доходитъ въ ней до клапана *a*, такъ что при слѣдующемъ размахѣ поршня вверхъ вода, открывъ клапанъ *a*, начнетъ наполнять стаканъ. При обратномъ ходѣ поршня клапанъ *a* закроется, а клапаны *b* откроются, причемъ вода, находящаяся подъ поршнемъ, перельется черезъ клапанныя отверстія поршня въ верхнюю часть цилиндра. Каждый слѣдующій подъемъ поршня будетъ сопровождаться уже не только всасываніемъ воды въ стаканъ, но и поднятіемъ воды, находящейся надъ поршнемъ.

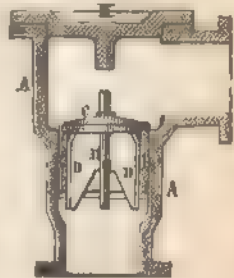
Вертикальная высота  $h_0$  отъ уровня нижняго резервуара до всасывающаго клапана наз. *высотой всасыванія*. Такъ какъ атмосферное давленіе способно уравновѣсить столбъ воды высотой въ 10,3340 м. = 33,87 фут., то, если бы во всасывающей трубѣ можно было образовать безвоздушное пространство, высота всасыванія могла бы быть равна 10,3340 м. Въ дѣйствительности, для возможности дѣйствія насоса, высота всасыванія должна быть менѣе 10,3340 м. и при томъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе высота вреднаго пространства и чѣмъ тяжелѣе всасывающій клапанъ. Въ практикѣ, въ виду существованія гидравлическихъ сопротивленій при движеніи воды во всасывающей трубѣ и при проходѣ черезъ клапанъ, высота всасыванія допускается не болѣе 7,5 м. для металлическихъ трубъ, а для деревянныхъ не болѣе 6 м.

**349. Насосные цилиндры.** дѣлаются обыкновенно изъ чугуна и лишь въ видѣ исключеній изъ бронзы, ставъ ручныхъ всасывающихъ насосовъ высверливается въ сосновыхъ или дубовыхъ стволахъ, которые служатъ въ то же время и всасывающею трубою.

*Клапаны* состоятъ изъ слѣдующихъ главныхъ частей: 1) *клапанной коробки*, обыкновенно чугунной, снабженной крышкою, черезъ которую устанавливается и осматривается отъ времени до времени клапанъ; 2) *стойла*, почти всегда латуннаго, во избѣжаніе ржавчины, сѣдло неподвижно и служитъ опорой для клапана, и 3) собственно *клапана*—подвижной части, назначенной для поочереднаго закрыванія и открыванія трубы. Клапаны дѣлаются ме-

*таллическіе* (изъ чугуна и бронзы), *кожаные* и *каучуковые*, весьма разнообразной формы.

На фиг. 326 представленъ *коническій* или *тарелочный клапанъ*. А есть чугунный кожухъ, В—латунное коническое сѣдло, С—латунный же клапанъ, обточенный по конусу и хорошо притертый къ своему сѣдлу; D,D—направляющія ребра, отлитыя заодно съ клапаномъ и плотно пригнанныя къ сѣдлу, они обеспечиваютъ правильное движеніе клапана, а, сѣдл. и плотное закрываніе отверстия трубы; К крышка клапанной коробки, снабженная внизу выступомъ, ограничивающимъ подъемъ клапана; высота подъема дѣлается обыкновенно равною  $\frac{1}{4}$  діаметра трубы.



Фиг. 326.

Въ большихъ насосахъ ставятся клапаны съ нѣсколькими сѣдлами (*сложные клапаны*), чѣмъ достигается уменьшеніе высоты подъема клапана, при томъ же объемѣ всасываемой воды, съ кѣлью уменьшить потерю воды обратно черезъ клапанъ и ослабить ударъ клапана о сѣдло. На фиг. 327 изображенъ клапанъ съ 2 сѣдлами системы *Гарвея*. Клапанъ BDE имѣетъ форму колокола и опирается на два кольцеобразныя чугунныя сѣдла AA и FF, скрѣпленныя между собою отлитыми заодно съ ними ручками L,L и образующія такъ наз. *ступъ клапана*. Заодно со ступомъ отлить небольшой цилиндрический выступъ CC, тщательно обточенный (какъ и ручки L,L) и охватываемый плотно втулкою клапана. Цилиндръ этотъ и ручки играютъ роль *направляющихъ* для клапана. На чертѣжѣ клапанъ представленъ въ самомъ верхнемъ его положеніи; вода, всосанная снизу, можетъ проходить вверхъ, во первыхъ, черезъ кольцеобразное отверстіе BABA, и во вторыхъ—сверху сѣдла FF черезъ верхнія отверстія клапана. При паденіи клапанъ, садится на вставныя кольца aa и ff, сдѣланныя изъ мягкаго малоржавѣющаго металла.



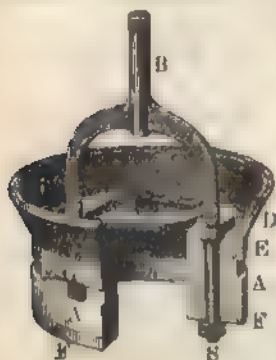
Фиг. 327.



Фиг. 328.

*Кожаный и каучуковый* клапаны представлены на фиг. 328 и 331. II. *Кожаный клапанъ* состоитъ изъ кружка толстой воловьей кожи В, укрѣпленнаго сверху и снизу желѣзными накладками С и D,

соединяемыми болтомъ или двумя заклепками. Назначеніе накладки — сообщить клапану подлежащую прочность и способность выдерживать давленіе воды. *Каучуковый клапанъ* состоитъ изъ кружка каучута  $V_1V_1$ , удерживаемаго на сѣдлѣ чашкою  $F_1$ , притянутою къ сѣдлу болтомъ. При давленіи воды снизу края клапана поднимаются и онъ получаетъ видъ шаровой воронки, прилегающей къ металлической чашкѣ  $F_1$ , которая не позволяетъ ему сплывкомъ много приподняться. Каучуковые клапаны не укрѣпляются никогда накладками, но чтобы клапанъ не продавливался въ отверстие, покрываютъ это послѣднее рѣшеткою, которая обыкновенно отливается заодно съ сѣдломъ.



Фиг. 329

**350.** *Поршни насосовъ* дѣлаются обыкновенно изъ чугуна, а въ простѣйшихъ ручныхъ насосахъ — изъ дерева; *набивка поршней* обыкновенно кожаная или кожаная, клапаны сквозныхъ поршней кожаные или каучуковые.

На фиг. 329 представленъ *деревянный клапанный поршень* съ кожаной набивкою (В), въ видѣ сшитаго круглаго воронки, укрѣпленнаго къ тѣлу поршня АА посредствомъ желѣзнаго обруча ЕЕ. Нижній обручъ ЕЕ служитъ для предохраненія поршня отъ разсѣхання. Въ поршнѣ сдѣлано центральное отверстіе Л, закрытое кожанымъ захлопнымъ клапаномъ У обыкновеннаго устройства. Концы штока В раздѣлены въ видѣ вилок СС, концы которой укрѣпляются въ поршнѣ при помощи заклепочекъ С и гаекъ S.

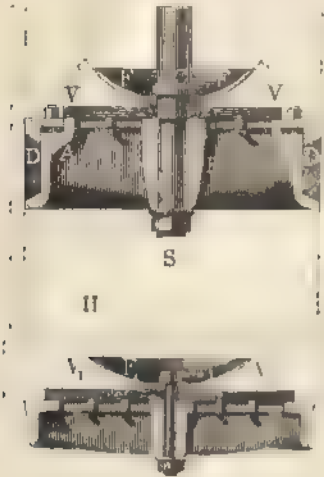


Фиг. 330.

На фиг. 330 изображенъ *чугунный поршень* съ кожаной же набивкою ВВ, которая укрѣпляется на поршнѣ при помощи желѣзнаго обруча СС. Въ поршнѣ два отверстія, закрытыя кожаными захлопными клапанами К.К. Концы кожаныхъ пластинокъ прижаты къ поршню трапецеидальнымъ заклепкомъ F, составляющимъ одно цѣлое со штокомъ. Нижній конецъ штока имѣетъ прямоугольное сѣченіе и укрѣпляется къ поршню при помощи клина Н

и поперечины G, сквозь которую продѣтъ штокъ.

Фиг. 331. представляет поршень съ пенкойю набивкою и съ каучуковыми клапанами. Устройство поршневого клапана совершенно сходно съ устройством всасывающего клапана, изображенного на томъ же чертежѣ. Корпусъ поршня состоитъ изъ обода АА, скрепленного при помощи 4 или 6 спицъ со втулкою ВВ въ

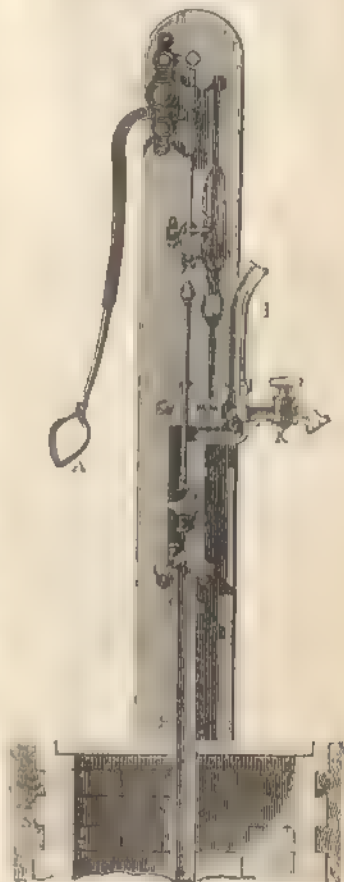


Фиг. 331.

которой закрывается конецъ штока С. Пряди крученой пенки, составляющей набивку помещаются въ нѣсколько оборотовъ, въ пространство DD, образуемъ ободомъ и кольцеобразною накладкою, которая можетъ быть притянута болѣе или менѣе къ поршню болтами. При стягиваніи этихъ частей набивка раздается въ стороны и плотно прижимается къ стѣнкамъ стакана.

**351. Ручной металлическій всасывающій насосъ.** Фиг. 332,

представляетъ въ вертикальномъ разрѣзѣ ручной всасывающій насосъ весьма распространеннаго типа. Чугунный стаканъ насоса укрѣпленъ на прочной деревянной стойкѣ СДП. Движеніе поршня К сообщается при помощи рычага АВС, вращающагося около оси В. Конѣцъ С рычага сочлененъ съ вилкообразнымъ шатуномъ CD, ведущимъ поршневой штокъ DE. Подъ емная труба L снабжена



Фиг. 332.

клапаномъ С и краномъ К. если послѣдній открытъ, то вода вытекаетъ не по подъемной трубѣ, а по боковой трубѣ К.

**352. Объемъ воды, поднимаемый всасывающимъ насосомъ въ секунду, и работа, потребная для его движенія.** Пусть  $D$  будетъ діаметръ цилиндра,  $L$ —длина хода поршня,  $n$ —число двойныхъ размаховъ (оборотовъ кривошипа) и  $H$ —полная высота подъема воды, считаемая отъ уровня нижняго резервуара до уровня верхняго резервуара. Тогда *теоретическій объемъ воды*, поднимаемый всасывающимъ насосомъ въ теченіе двойнаго размаха поршня будетъ:  $\frac{\pi D^2}{4} L$ , а въ секунду, при  $n$  двойныхъ размахахъ въ

минуту  $\frac{\pi D^2}{4} L \frac{n}{60}$ . *Дѣйствительный же объемъ воды*, поднимаемый насосомъ, всегда *меньше теоретическаго*, во первыхъ потому, что часть воды всегда успеетъ уйти черезъ отверстіе всасывающаго клапана, въ то время когда онъ закрывается, а во вторыхъ потому, что вследствие несовершенства въ устройствѣ набина и клинновъ всегда существуетъ просачиваніе воды между поршнемъ и стаканомъ, между клапанами и ихъ сѣдлами. Поэтому *дѣйствительный объемъ воды*, поднимаемый насосомъ въ сек., выражается формулою:

$$Q = \varphi \frac{\pi D^2}{4} \frac{Ln}{60} \dots \dots (84)$$

гдѣ *коэфф.* потери  $\varphi$  для лучшихъ насосовъ равенъ 0,9, для хорошихъ 0,8, и для обыкновенныхъ 0,5.

Работа, расходуемая въ сек. на поднятіе объема  $Q$  на высоту  $H$ , не принимая въ расчетъ вредныхъ сопротивленій, т. е. *полезная работа насоса въ сек.* будетъ:

$$T_n = \Delta Q H \text{ к. м., или } N_n = \frac{\Delta Q H}{75} \text{ л. л.}$$

На самомъ же дѣлѣ работа, которую надо передать насосу для того, чтобы онъ могъ поднимать непрерывно вѣсъ  $\Delta Q$  воды на высоту  $H$ , больше полезной работы  $T_n$ .  $\Delta Q H$  этого вѣса, вследствие существованія безполезныхъ сопротивленій (*трения набинки поршня о сѣдло стакана и гидравлическихъ сопротивленій* при движеніи воды по системѣ трубъ (§§ 147 и 118), поглощающихъ часть энергіи  $T$  машины двигателя или рабочаго, передаваемой насосу. Отношеніе  $\frac{T_n}{T}$  полезной работы насоса къ работѣ двигателя, передаваемой ему наз. *коэфф. полезнаго дѣйствія насоса*, который мы по прежнему будемъ означать буквою  $\mu$ . Для обыкновенныхъ насосовъ  $\mu = 0,6$ , а для хорошо устроенныхъ  $\mu = 0,75$ . Принимая среднее значеніе  $\mu = 0,7$ , получимъ для *валовой работы*, расходуемой на движеніе насоса, выраженіе

$$T = \frac{\Delta Q H}{\mu} \text{ к. м., или } N = \frac{\Delta Q H}{\mu \cdot 75} \text{ пар. л.} \dots (85)$$



**353. Насосъ съ утолщеннымъ штокомъ** (фиг. 333). Вса-  
сывающій насосъ, рассмотрѣнный въ предыдущихъ §§, представляетъ  
тотъ недостатокъ, что подъемъ воды, а. слѣд., и работа распре-  
ляется неравномерно на оба хода поршня, такъ какъ  
при нисходящемъ движеніи поршня изъ стакана вытѣс-  
няется только объемъ воды, равный объему, занятому  
штокомъ, т. е.  $\frac{\pi d^2}{4} L$ , гдѣ  $d$  есть діаметръ штока, между-  
тѣмъ какъ во время восходящаго движенія поршня объемъ  
воды, доставляемой въ верхній резервуаръ, равенъ  $\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L$ . Съ цѣлью устранить этотъ недостатокъ дѣ-  
лаютъ штокъ несколько толстымъ, чтобы при нисходя-  
щемъ движеніи онъ вытѣснялъ столько же воды, сколько  
онъ вытѣсняетъ поршень при своемъ поднятіи т. е. чтобы



Фиг. 333.

$$\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L = \frac{\pi d^2}{4} L, \text{ откуда: } d = D \sqrt{0.5} = 0.707D.$$

Такой насосъ наз. *насосомъ съ утолщеннымъ штокомъ*. Онъ имѣ-  
етъ, собственно, два поршня: одинъ А, снабженный клапанами *а, а*,  
и другой В, имѣющій форму *мыла*. Этотъ послѣдній пропускаетъ  
черезъ сальникъ Е и служитъ въ то же время штокомъ для пер-  
ваго поршня.

**354 Главнѣйшіе раздѣлы всасывающаго насоса.** Расчетъ насоса начи-  
нается обыкновенно съ опредѣленія діаметра  $D$  поршня по данному объему  
 $Q$  доставляемой воды въ сек., пользуясь формулою (84).

Такъ какъ гидравлическія сопротивленія возрастаютъ со среднею ско-  
ростью  $c$  (§ 147 и 148) воды (а слѣд., и поршня), то эту послѣднюю должно  
дѣлать по возможности меньше, имѣя лишь въ виду то обстоятельство, что  
слишкомъ медленное движеніе поршня влечетъ за собою большую потерю  
воды черезъ клапаны и набивку. Въ практикѣ берутъ  $c$  отъ 0.15 до 0.25  
метр. для насосовъ съ тщательною пригонкою клапановъ и набивки, отъ  
0.25 до 0.35 для хорошо устроенныхъ насосовъ и отъ 0.35 до 0.5 для обык-  
новенныхъ насосовъ. Въ исключительныхъ, однако, случаяхъ, напр., когда  
проектируется насосъ для доставленія большого количества воды, допу-  
скають для  $c$  значеніе даже близкое къ 1 метру, съ цѣлью набѣжать слиш-  
комъ большого діаметра стакана.

Для опредѣленія длины хода служитъ формула:  $s = \frac{2\pi L}{60}$ , если число  
качаній поршня обусловлено, напр., когда извѣстно число оборотовъ въ  
минуту той машины, которая будетъ сообщать движеніе насосу. Если число  
размаховъ не задано то для  $L$  избираютъ возможно большія значенія, съ  
цѣлью уменьшить число размаховъ; обыкновенно берутъ  $L = 4D$ . Въ *руч-  
ныхъ насосахъ* величина хода  $L$  поршня обуславливается ходомъ  $z$  конца  
рычага, на который дѣйствуетъ рабочій, величина хода  $z$  принимается рав-  
ною отъ 0.80 до 1.20 метр., поэтому  $L = \frac{L}{a} z = \frac{b}{a} (0.8-1.2)$ ; отношеніе  
плечи рычага  $\frac{b}{a}$  дѣлается отъ  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{6}$ . По этимъ даннымъ опредѣ-  
лится число двойныхъ размаховъ  $n$  въ минуту. Диаметры всасывающей и подѣ-



сжатой воды определяются по условию, чтобы скорости воды въ нихъ не превосходили 1,2 м. в. сек., чтобы она была отъ 2 до 3 разъ болѣе скорости поршня.

По этому условию имѣемъ:  $\frac{\pi d^3}{4} 2c = \frac{\pi D^2}{4} c$ , или  $\frac{\pi d^3}{4} 2c = \frac{\pi D^2}{4} c$ , откуда  $d$  — отъ 0,7 до 0,6D. Толщина стѣнокъ чугуннаго стакана, если внутреннее давление не превосходитъ 12 атм., что обыкновенно и бываетъ, можетъ быть определена по формулѣ:  $\delta = 0,024D + 0,85$  сант. По той же формулѣ определяется толщина стѣнокъ трубъ, подставивъ вмѣсто D соответственный діаметръ трубы.

**355. Нагнетательные насосы.** Въ нагнетательныхъ насосахъ встрѣчаются тѣ же части, какъ и во всасывающихъ, только поршень нѣтъ сквозной, а глухой безъ клапановъ.

Фиг. 354 представляетъ наипростейшій насосъ простого дѣйствія. При восходящемъ движении поршня происходитъ только всасываніе воды, причемъ клапанъ D открывается, а клапанъ E закрываетъ давлениемъ воды, находящейся въ нагнетательной трубѣ C. При обратномъ движении поршня внизъ давление воды закрываетъ клапанъ D и открываетъ клапанъ E, при чемъ вода нагнетается вверхъ по трубѣ C. При новомъ восходящемъ движении поршня клапанъ E опять закрывается, а клапанъ D открывается и происходитъ новое всасываніе и т. д.

Нагнетательный насосъ двойнаго дѣйствія (фиг.

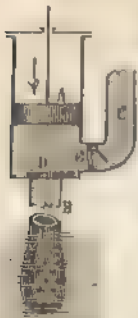
Фиг. 355) имѣетъ 4 клапана: 2 всасывающихъ а и а<sub>1</sub> и 2 нагнетательныхъ б и б<sub>1</sub>. При каждомъ ходѣ поршня открываются съ одной стороны всасывающіе, а съ другой—нагнетательный клапаны, и такимъ образомъ всасываніе и нагнетаніе происходятъ одновременно и непрерывно.

**356. Устройство клапановъ нагнетательныхъ насосовъ.** ничѣмъ не отличается отъ клапановъ всасывающихъ насосовъ. Что же касается поршней, то они

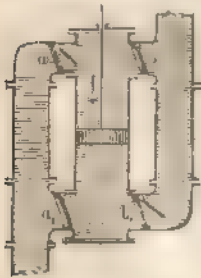
всегда металлическіе—сплошные. Существуетъ два главныхъ типа этихъ поршней: 1) шайбовые поршни съ набивкою (чаще всего кожаную) на ободѣ и 2) нырля, съ набивкою при стаканѣ.

Фиг. 336 представляетъ чугунный пор-

шень съ двойнымъ кожанымъ воротникомъ для насоса двойнаго дѣйствія. Онъ состоитъ изъ трехъ чугунныхъ дисковъ А, G и E, между которыми зажаты два воротника D и F при помощи гаекъ



Фиг. 354



Фиг. 355.



Фиг. 336.

2. Во время дѣйствія насоса вода своимъ давленіемъ расширяетъ воротники, прижимая ихъ къ стѣнкамъ стакана. Въ некоторыхъ поршняхъ внутренний чугунный дискъ А, не касающійся стакана, замѣняется кожаными кружками, которые способствуютъ болѣе плотному прикосанію поршня къ стѣнкамъ цилиндра.

На фиг. 337 изображено желѣзное *вырло*. Оно представляетъ сплошной цилиндръ, обточенный снаружи и плотно пригнанный къ внутренней поверхности стакана. Набивку составляютъ два кожанныхъ воротника стянутыхъ крышкою, ввинчиваемою въ верхнюю часть стакана.

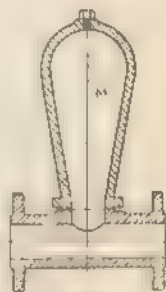
**357. Воздушный колоколъ.** Нагнетательный насосъ простаго дѣйствія представляетъ недостатокъ, состоящій въ томъ, что во время всасывающаго хода поршня, струя воды изъ нагнетательной трубы совершенно прерывается. Для устранения этого недостатка въ тѣхъ случаяхъ, когда *непрерывность и равномерность* вытекающей струи имѣетъ большое практическое значеніе, въ нагнетательной трубѣ ставится около вылетѣльнаго конца К (фиг. 331), особый резервуаръ М (фиг. 338), содержащій воздухъ и наз. *воздушнымъ колоколомъ*. Нагнетаемая поршнемъ вода поступаетъ предварительно въ воздушный колоколъ М, изъ котораго затѣмъ поднимается по нагнетательной трубѣ С (фиг. 331). При *нѣстоящемъ движеніи поршня* работа движущаго усилія расходуется частью на подъемъ воды по трубѣ С, а частью на сжатіе воздуха заключеннаго въ колоколъ. При *всасывающемъ же движеніи*, когда клапанъ К закрывается, сжатый воздухъ, расширяясь, продолжаетъ гнать воду изъ колокола въ трубу С. Понятно, что при надлежащихъ размѣрахъ колокола, въ нагнетательной трубѣ можетъ получиться движеніе воды, близкое къ равномерному.

Воздушный колоколъ, обезпечивая равномерное вытекание струи, *увеличиваетъ полезное дѣйствіе насоса*. На самомъ дѣлѣ, при отсутствіи колокола въ началѣ каждого восходящаго движенія поршня почти мгновенно прекращается движеніе воды въ нагнетательной трубѣ, при чемъ живая сила этой воды теряется на ударъ о стѣнки и клапанъ. При существованіи же колокола живая сила не теряется на ударъ, но расходуется на сжатіе воздуха и затѣмъ снова возвращается въ періодъ его расширенія. Поэтому воздушный колоколъ ставится и при насосахъ двойнаго дѣйствія, а также нередко при всасывающей трубѣ, если длина ея значительна.

Что касается формы воздушныхъ колоколовъ, то ихъ дѣлаютъ или коническими, расширяющимися вверхъ и ограниченными по-



Фиг. 337.



Фиг. 338.

сферою, или цилиндрическими. Объемъ же ихъ дѣлается отъ 3 до 5 объемовъ цилиндра.

**358. Пожарная помпа.** *Пожарная помпа* представляетъ нагнетательный насосъ, снабженный воздушнымъ колоколомъ, изъ котораго вода выбрасывается сильною и непрерывною струею черезъ коническую служивающую насадку, навинченную на конецъ нагнетательнаго рукава. Пожарные насосы бывають *ручные* и *паровые*. Последние представляютъ большое сходство съ локомотивомъ, снабженнымъ вертикальнымъ трубчатымъ котломъ и нагнетательнымъ насосомъ, который всегда имѣетъ воздушный колоколъ, на томъ же колесномъ ходу помѣщается резервуаръ для воды, питающей насосъ.

На фиг. 339 представленъ *ручной пожарный насосъ*. Онъ состоитъ изъ двухъ нагнетательныхъ насосовъ простаго дѣйствія А



Фиг. 339.

и В, соединенныхъ между собою и снабженныхъ общимъ воздушнымъ колоколомъ С. Штоки насосовъ подвѣшены къ ручному колену DDE, вращающемуся около горизонтальной оси О.

**359. Объемъ воды накачиваемой нагнетательнымъ насосомъ въ сек. и работа, потребная для его движенія.** Означая коэффициентъ потери воды черезъ всасывающій клапанъ буквою  $\varphi$ , получимъ для объема воды, накачиваемой въ сек. насосомъ простаго дѣйствія:

$$Q = \varphi \frac{\pi D^3}{4} \cdot \frac{Ln}{60}, \quad \dots \quad (86)$$

а насосомъ двойнаго дѣйствія:

$$Q = \varphi \frac{\pi D^3}{4} \cdot \frac{2Ln}{60}, \quad \dots \quad (87)$$

Полезная работа того и другаго насосовъ будетъ

$$T_0 = \Delta QH \text{ в. м., или } N = \frac{\Delta QH}{75} \text{ п. л.,}$$

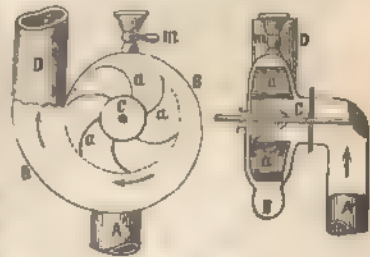
гдѣ  $H$  есть полная высота нагнетанія, считаемая отъ нижняго урѣвня до верхняго, а *полная (валовая) работа, расходующаяся на обійденіе насосовъ въ сек.* будетъ:

$$T = \frac{\Delta QH}{\mu} \text{ в. м., или } N = \frac{\Delta QH}{\mu 75} \text{ п. л. . . . . (88)}$$

гдѣ  $\mu$  есть коэфф полезнаго дѣйствія насоса, который можно принять въ среднемъ равнымъ 0,7.

*Примѣчаніе* Что касается главнѣйшихъ размѣровъ нагнетательныхъ насосовъ, то они опредѣляются по тѣмъ же правиламъ, какія были изложены для всасывающихъ насосовъ (§ 354).

**360. Центробѣжная помпа** (фиг. 340). Этотъ насосъ представляетъ видоизмѣненную радиальную турбину <sup>1)</sup> и подобно ей состоитъ изъ колеса, насаженнаго на валъ и снабженнаго кривыми лопатками *а, а*. Колесо это заключено внутри спиральнаго <sup>2)</sup> кожуха *ВВ*, въ



Фиг. 340.

боковой стѣнкѣ котораго сдѣлано концентрическое съ колесомъ отверстіе *С*, черезъ которое вода вступаетъ въ насосъ, поднимаясь по всасывающей трубѣ *А*. Передъ началомъ работы насосъ наполняютъ водою. При вращеніи колеса по часовой стрѣлкѣ вода, наполняющая пространство между лопатками, отъ дѣйствія центробѣжной силы, начнетъ выгоняться въ спиральный каналъ, а отсюда въ нагнетательную трубу *Д*. Вслѣдствіе этого происходитъ уменьшеніе давленія воздуха въ насосѣ, обуславливающее всасываніе воды трубою *А*. Въ верхней части кожуха ставится кранъ *п* для выпуска воздуха, скопившагося въ этой части и могущаго мѣшать правильному дѣйствію насоса. Въ некоторыхъ насосахъ кранъ этотъ помѣщается на особомъ приборѣ *В.П.* (фиг. 341), наз. *эжекторомъ*. Главную часть эжектора составляетъ *коническая расходная насадка Л*, при отсутствіи которой обуславливаетъ всасывающее дѣйствіе прибора (§ 140). Закрывъ верхнее отверстіе нагнетательной трубы доскою обмазанною глиною, пускаютъ черезъ трубку *Д* струю пара или воды, которая выходя съ большою скоростью изъ прибора высасываетъ воздухъ изъ насоса

<sup>1)</sup> Подобная аналогія можетъ быть проведена между насосами и водостолбовыми машинами, на вращающихся колесахъ и *водочерпательными колесами*, служащими для перекачки воды изъ нижняго резервуара въ верхній. Эти колеса представляютъ *принципиальныя водоподъемныя машины*.

<sup>2)</sup> Въ практикѣ принимается обыкновенно *архимедова спираль*, но какъ показываетъ теорія, наилучшею формою кожуха соответствуетъ *спираль логарифмическая*.

и производить весьма быстро заполнение помпы водою. При существовании эжектора делается излишняя установка при низком конце заборной трубы особого *вспомогательного* клапана, вредно влияющего на полезное действие и непрерывную работу насоса, по необходимости для первоначального наполнения его водою.



Фиг. 341.

Смотря по величине центробежных помпы дѣлають отъ 250 до 2500 оборотовъ въ мин. Объемъ воды, поднимаемый въ сек., равенъ  $Q = \frac{\pi d^3}{4} \cdot c$ , гдѣ  $d$  есть диаметръ всасывающей трубы и  $c$  — скорость воды въ ней, изменяющаяся отъ 1 до 1,6 м. въ сек. для напоровъ  $H \leq 8$  м., и отъ 1,6 до 2,5 м. въ сек. для  $H = 8$  до 15 м. *Наивыгоднѣйшая скорость  $v$  на окружности колеса*, согласно опытамъ, равна

$$v = 1,5 + 2,5H \text{ м. } \text{Зная } v, \text{ найдемъ}$$

число оборотовъ помпы въ мин. по формулѣ  $n = \frac{v \cdot 60}{\pi D}$ , гдѣ  $D$  есть наружный диаметръ колеса; онъ дѣлается равнымъ 2,5  $d$ . *Кинематическое полезное дѣйствіе* у этихъ помпъ изменяется отъ 0,6 до 0,70 (тѣмъ меньше, чѣмъ больше напоръ  $H$ ). Наконецъ, работа, потребная для движенія насоса въ сек., будетъ

$$T = \frac{\Delta QH}{\eta} \text{ к. м., или } N = \frac{\Delta QH}{\eta \cdot 75} \text{ л.}$$

### 361 Круговращательные насосы

*Круговращательные (или колесовращательные) насосы* отличаются отъ центробежныхъ тѣмъ, что вода поднимается въ нихъ не дѣйствіемъ центробежной силы, а при помощи вращающагося поршня.



Фиг. 342.

На фиг. 342 представленъ въ вертикальномъ разрѣзѣ *круговращательный насосъ Дюпа*. Онъ состоитъ изъ цилиндра НГ, внутри котораго вращается на валу W кольцеобразный поршень АА снабженный 4 радиальными подвижными лопатками СС.

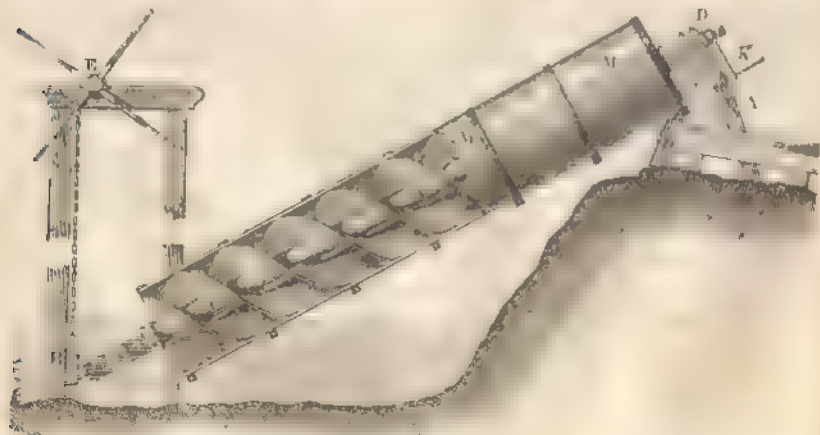
Лопатки находятся въ постоянномъ соприкосновеніи съ одной стороны — съ ободомъ вращающагося эжектора — рѣбра установленнаго неподвижно внутри поршня АА, а съ другой —

съ внутреннейю поверхностью цилиндра НГ и съ желѣзною поло-  
сою НГГ, которая концами своими заѣлана въ стѣнки цилиндра,  
а серединою нажата къ ободу поршня А. Въ полосу НГГ сдѣланы  
окошки К и Л, посредствомъ которыхъ пространство ВВ сооб-  
щается нижней частью со всасывающей трубою Ж, а верхнею съ  
нагнетательною трубою М. При вращении вала W вмѣстѣ съ нимъ  
будутъ вращаться и лопатки С, которыя, проходя вдоль части ГГ  
желѣзной полосы, всасываютъ воду въ цилиндръ, и гонятъ ее затѣмъ  
черезъ окошко Л въ нагнетательную трубу. Главнымъ недостаткомъ  
этого насоса заключается въ трудности пригонки подвижныхъ ло-  
патокъ, которыя скоро изнашиваются и потому требуютъ частаго  
ремонта.

Изъ другихъ вращательныхъ насосовъ пользуется извѣстностью  
насосъ *Бернаи*, устройство котораго совершенно сходно съ враща-  
тельною паровою машиною того же изобрѣтателя (§ 313).

**362. Архимедовъ винтъ** *Архимедовъ винтъ* предъ собой одинъ изъ самыхъ  
старинныхъ водопотымныхъ машинъ. Первоначальное устройство его, дан-  
ное *Архимедомъ*, состояло изъ трубки, вращенной вѣтвиобразно около оси,  
наклоненной къ горизонту и погруженной нижнимъ концомъ въ воду. При  
каждомъ оборотѣ вала трубка гоняла въ себя въ который объемъ воды,  
которая затѣмъ выливается черезъ верхній ея конецъ В. настоящее  
время эта конструкция, по трудности приготовленія винтовыхъ об-  
ротовъ съ крутымъ сѣченіемъ, совершенно оставлена, трубка дѣлается винто-  
вою поверхностью, съ двумя или тремя ходами, заключенною въ кожухъ,  
составляющей кожухъ цилиндръ, въ часть его, желѣзо. Такого устройства  
винтъ носитъ названіе *голландскаго*.

На фиг. 343 изображенъ деревянный голландскій винтъ съ 3 ходами.  
Онъ состоитъ изъ вала с D, отъ вращающаго концами своими на деревянную



Фиг. 343.

раму, верхній конецъ которой установленъ на колесахъ А, а нижній под-  
вѣшенъ къ стойкамъ В при помощи дѣл. навитой на воротъ Е, посред-



ствомъ котораго винтъ можетъ быть установленъ подъ требуемымъ угломъ къ горизонту. Валъ CD окруженъ цилиндрическимъ досчатымъ кожухомъ M. Въ пространствѣ между кожухомъ и валомъ помѣщены 3 винтовые поверхности G, G', G'', образующія винтовые каналы. Эти поверхности строятся изъ отдѣльныхъ дощечекъ (*сегментовъ*), обстроганныхъ по шаблону и вставленныхъ въ пазы, которые вырабатываются по винтовымъ линиямъ одинаковаго шага на валѣ винта и на внутренней поверхности кожуха. Снаружи кожухъ стягивается желѣзными обручами и такимъ образомъ всѣ части скрѣпляются въ одно цѣлое.

Въ *металлическихъ* винтахъ перегородки дѣлаются изъ листового желѣза и прикладываются къ винтообразнымъ закраинамъ, прилитымъ къ чугунному валу. Кожухъ дѣлаетъ также изъ листового желѣза; винтовая перегородка прикрѣпляютъ къ нему посредствомъ углового желѣза. Иногда, при большой длинѣ винта, кожухъ устривается въ видѣ желоба, облегающаго только нижнюю часть винта и составленнаго изъ деревянныхъ досокъ, листового желѣза или изъ кирпича.

Винтъ ставится *наклонно къ горизонту* подъ угломъ, немногимъ больше разности  $90 - \alpha$ , гдѣ  $\alpha$  есть уголъ подъема направляющей винтовой линии. При этомъ нижній конецъ винта долженъ погружаться въ воду на столько, чтобы при вращеніи винта его винтовой каналъ захватывалъ поочередно то воду, то воздухъ. Вода, захватываемая нижнимъ концомъ винтового канала, падаетъ по отношенію къ винтовой поверхности роль какъ бы части гайки, которая удерживается вѣрнымъ притѣсненіемъ (въ данномъ случаѣ вѣсомъ) отъ приращенія выѣтъ съ винтомъ и который, слѣд., долженъ двигаться вдоль его оси.

Архимедовы винты, какъ и центробѣжные насосы, могутъ поднимать и чистую и грязную воду, но только на *небольшую высоту*, которая всегда меньше длины винта. Они въ большомъ употребленіи въ *Голландіи*, гдѣ применяются для осушенія низменныхъ мѣстъ. Небольшие переносные винты приводятся въ движеніе руками при помощи рукоятки; а большіе — постоянныя — получаютъ движеніе отъ вѣтряныхъ или другихъ приемниковъ.

Въ отношеніи коэфф. полезнаго дѣйствія Архимедовъ винтъ представляетъ самую совершенную водоподъемную машину, употребляя въ пользу 75% работы машины-двигателя.

**363 Гидравлическій баранъ.** *Гидравлическій баранъ* или *ударный насосъ*, построенный въ 1796 г. *Монгольфье*, изобрѣтателемъ воздушныхъ шаровъ, представляетъ самодѣйствующій приборъ, поднимающій воду безъ помощи какой-либо машины-двигателя. Принципъ дѣйствія его основанъ на преобразованіи живой силы большой массы воды въ работу, расходуемую на поднятіе небольшой ея части <sup>1)</sup>.

Гидравлическій баранъ состоитъ изъ камеры ВК, наз. *головой*, (фиг. 341), верхнее отверстіе которой (К) снабжено такъ наз. *отсѣвнымъ* клапаномъ V, открывающимся сверху внизъ. Труба А (*корпусъ* барана) сообщаетъ камеру ВК съ нижнимъ резервуаромъ, а труба С — съ воздушнымъ колодезѣмъ RS, снабженнымъ клапаномъ W.W. Когда клапаны V и W закрыты, а камера ВК и колодезь наполнены водою (сплошнѣй только отчасти), то достаточно нажать

<sup>1)</sup> Первые примѣненіе этого принципа было сдѣлано еще въ 1775 г. англичаниномъ *Уитстеномъ*; но его приборъ требовалъ присутствія рабочаго для открыванія и закрыванія крапа.

на отсѣчный клапанъ V, чтобы привести аппаратъ въ дѣйствіе. При этомъ вода изъ ударной камеры устремится черезъ клапанъ V наружу, но скоро отсѣчный клапанъ, увлекаемый водою, закроется, такъ какъ давленіе на клапанъ снизу больше давленія сверху вслѣдствіе разрѣженія воздуха въ ци-

линдрической насадкѣ KV, обусловливаемого сжатіемъ струи (§ 139). Вода, остановленная почти мгновенно въ своемъ движеніи, производитъ сильный ударъ по всѣмъ направленіямъ, дѣйствіемъ котораго открывается нагнетательный клапанъ W и часть воды переходитъ въ воздушн. колоколъ, сжавъ заключенный въ немъ воздухъ. Изъ колокола нѣкоторая часть воды поднимется по нагнетательной трубѣ D, а остальная часть начнетъ обратное движеніе черезъ подъемный



Фиг. 344.

клапанъ W, который скоро захлопнется. Когда черезъ нѣсколько секундъ вода придетъ въ покой, отсѣчный клапанъ снова откроется, причемъ повторится тѣже явленія. Закрытие отсѣчного клапана всегда сопровождается сильнымъ ударомъ его о сѣдо, служащимъ причиною потери запаса работы и способствующимъ скорому изнашиванію клапана. Эти обстоятельства не позволяютъ устраивать аппаратъ большихъ размѣровъ.

При небольшихъ количествахъ поднимаемой воды и при отношеніи высоты подъема къ напору рабочей воды, не превосходящемъ 8, гидравлическій баранъ представляетъ преимущество передъ всѣми другими водоподъемными машинами въ отношеніи полезнаго дѣйствія. Сверхъ того онъ не требуетъ никакого надзора и никакихъ расходовъ по содержанію. Называя буквами Q количество воды, расходуемое рабочимъ резервуаромъ,  $Q_1$  количество поднимаемой воды,  $h$  рабочей напоръ и  $h_1$  высоту подъема, получимъ для коэфф. полезнаго дѣйствія аппарата, выраженіе:  $\mu = \frac{Q_1 h_1}{Q h}$ . По опытамъ Эйтельвейна:

при  $\frac{h_1}{h} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20.$

$\mu = 0,920; 0,837; 0,774; 0,720; 0,673; 0,630; 0,555; 0,488; 0,427; 0,345; 0,226$

**Пример.** Определить количество (азотной) воды, потребной для поднятия 100 литр. на высоту  $h_1 = 5$  м. при рабочем напоре  $h = 1$  м. Такъ какъ  $\frac{h_1}{h} = 5$ , то  $\mu = 0.673$ , поэтому  $Q = 142$  литр. Между тѣмъ, если бы вмѣсто сдѣланъ былъ употребленъ обыкновенный насосъ, который приводился бы въ движѣніе лучшимъ артемникомъ, верховнаго норм. кол. мы то принимая коэфф.  $\mu = 1$ , насоса  $\eta = 0.7$ , а колеса  $\mu = 0.9$ , получили бы общій коэфф.  $\mu = 0.63$ , т. е.  $Q = 156$ .

**364 Пульзометръ.** Подъ именемъ *пульс метри* извѣстенъ приборъ, являющій въ 70-хъ годахъ американцемъ *Герри Гиллемъ* паровой насосъ, представляющій въ сущности усовершенствованную водоподъемную машину *Савери* (§ 30). Какъ и въ послѣдней, зт. пульзометръ паръ проникаетъ въ непосредственное соприкосновеніе съ водою, и вслѣдствіе поперемяннаго образования разряженнаго пространства и поперемяннаго вытѣсненія пара въ воду, происходитъ сперва всасываніе и затѣмъ подъемъ ея на высоту.

Фиг. 315 представляетъ пульсометръ въ вертикальномъ разрѣзѣ. Онъ состоитъ изъ двухъ камеръ А и В, сдѣланныхъ изъ чугуна и соединившихся въ общую трубу Д, приводящую паръ изъ котла въ вѣтвь, или трубу установленнаго шарового клапана Е, сообщающаго попеременно въ верхнюю трубу Д и въ основ., то ест. нижнюю камеру. Вода всасывается въ приборъ трубою Г, а въ другой поступаетъ въ камеру К, заключающую въ себѣ два всасывающихъ шаровыхъ клапана М и N. Есть надлежащая труба общая для обеихъ камеръ и сдѣланная шаровымъ же клапаномъ. Камеры снабжены люками, черезъ которые производится установка и осмотръ всасывающихъ клапановъ. Наконецъ, С есть воздушный колоколъ для всасывающей трубы, заключающій разряженный воздухъ, и соединенный со всасывающей трубою Г при помощи обращеннаго кверху развѣтвленія (на чертежѣ не показано). Назначеніе его аналогично съ назначеніемъ патентнаго воздушнаго колокола. Весь аппаратъ отливается со всеми камерами за одно цѣлое и не требуетъ почти никакой отливки.

При положеніи пароваго клапана, представленномъ на чертежѣ, паръ вступаетъ въ нижнюю камеру. Вслѣдствіе особенной формы камеры, паръ при своемъ вступленіи находится въ соприкосновеніи лишь съ весьма небольшою поверхностью воды, защищенною при томъ небольшимъ слоемъ воздуха (*воздушная подушка*), поэтому въ первый моментъ почти не происходитъ вовсе конденсаціи. Подъ давленіемъ сильной струи притекающей пара уровень воды посте-

<sup>1)</sup> Въ пульсометрахъ конструкція *Кертмина* ниже паровые клапаны замѣнены каучуковыми, которые дали лучшіе результаты на практикѣ, а верхній клапанъ Е замѣненъ весьма чувствительнымъ языкообразнымъ клапаномъ, качающимся около горизонтальной оси.

пенно и плавно понижается, оставаясь горизонтальнымъ, пока не достигнетъ отверстия, сообщающаго камеру съ вышележащимъ каналомъ. Преходъ оставшейся части воды черезъ это отверстие сопровождается значительными колебаниями уровня и веси массы воды, обусловливающими быструю конденсацию пара, а вместе съ тѣмъ и образование разреженнаго пространства. При этомъ верхній клапанъ давлениемъ воздуха, заключеннаго въ верхней части правой камеры, отбрасывается на лѣвое сѣдо. нагнетательный клапанъ закрываетъ лѣвое выходящее отверстие (нагнетание кончилось), а лѣвый всасывающій клапанъ, бывший все время закрытымъ, тотчасъ открывается, происходитъ всасывание воды въ лѣвую камеру. Струя пара выходитъ уже въ правую камеру, дѣйствіе аппарата повторяется.

Благодаря простотѣ и компактности устройства, легкости установки, небольшому вѣсу, постоянной готовности къ дѣйствію, способности качать при малыхъ размѣрахъ большой объемъ воды, пневмометръ въ короткое время приобрѣлъ общенное практическое значеніе.

*Примѣаніе.* Давленіе пара въ котлѣ должно быть не 1—1,1 атм больше давления воды въ пневмометрѣ. По опытамъ, произведеннымъ въ Рейхенвальдской каменноугольной шахтѣ „Адольф“, пневмометръ № 9 (диаметръ входной и выходной трубы 15,6 см, нагнетательный 12,5 см и всасывательный 3 см, вѣсъ вѣсъ 300 kgf) поднимать въ минуту 8,0 литр воды на высоту 29 метр., т. е. производилъ следующую работу.  $810,29 \times 7500 = 6,22$  пар. лощ. въ секунду, расходъ въ минуту на 1 пар. лощ. 1,43 kgf пара. По сравнению съ паровымъ насосомъ при коэф. полезнаго дѣйствія насоса 0,75 и паровой машиной 0,15, этотъ расходъ энергии приведетъ къ паровому насосу, соответствующему расходу пара изъ машины  $0,75 \times 0,35 \times 143 = 0,375$  килогр. въ минуту или 22,5 kgf. пара въ часъ на 1 индикаторную пар. лощ.

**365. Мукомольный поставъ <sup>1)</sup> и его части.** Главную часть всякой мельницы составляютъ *поставы*, т. е. механизмы служащіе для размельченія зеренъ.

На фиг. 346 представленъ поставъ съ зубчатымъ приводомъ и его детали. Онъ состоитъ изъ двухъ цилиндрическихъ камней или *жернововъ* А и В, изъ которыхъ нижній неподвиженъ и наз. *лежащимъ* или *нижнимъ*, а верхній вращается около вертикальнаго вала (*серетини*) а и наз. *бѣгущимъ* или *верхнимъ* <sup>2)</sup>. Лежачъ прочно установленъ на чугунной плитѣ, поддерживаемой чугунными же колоннами Т, которыя опираются на фундаментную доску W и укрѣпляются къ каменному основанію болтами b. Верхняя по-

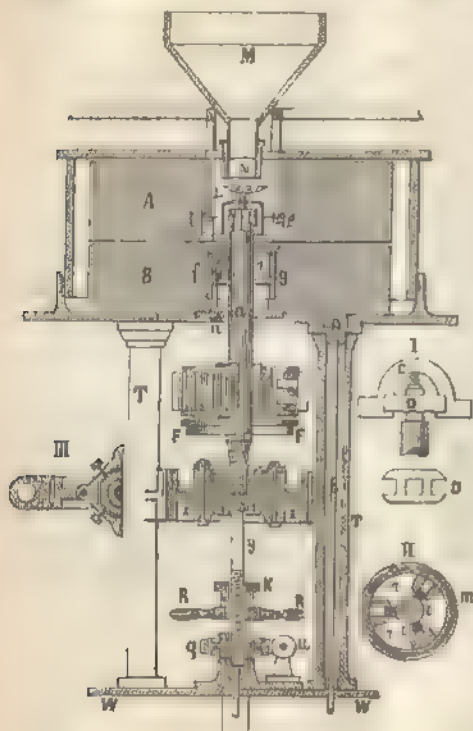
<sup>1)</sup> Поставы съ двумя жерновами были извѣстны еще во времена Моисея, т. е. за 1600 лѣтъ до Р. Хр. это были ручные мельницы. Но уже много раньше Р. Х. работа жерновка была замѣнена работою животныхъ на коновомъ принципѣ. Первая паровая мельница была построена въ Англіи въ 1783 г.

<sup>2)</sup> Существуютъ поставы съ длиннымъ вращающимся жерновомъ, а также съ нижнимъ и верхнимъ вращающимися жерновами. Последняя конструкция встрѣчается, впрочемъ, очень рѣдко.

верхность лежня устанавливается по ватерпасу горизонтально. Для предупреждения распыла муки, выходящей из жернововъ, послѣдніе окружены (въ разстояніи около 2") цилиндрическимъ кожухомъ или обечкою. Мука, собирающаяся въ пространствѣ между жерновомъ и стѣнками кожуха, выходитъ оттуда особымъ каналомъ.

**Жернова** Качества жернового камня имѣютъ важное значеніе для усѣбности помола. Такъ какъ помолъ происходитъ вълѣдствіе разрыва зеренъ дѣйствіемъ тренія между движущимися поверхностями,

движущимися съ различными скоростями, то эти поверхности должны быть шероховаты и должны какъ можно дольше сохранять свою шероховатость, а для этого необходимо, чтобы камень обладалъ твердостью и имѣлъ зернистое сложеніе. Пористость камня, обуславливая присутствіе на мелющей поверхности углубленій, ограниченныхъ острыми краями, которые способствуютъ болѣе совершенному размельченію зерна, составляетъ одно изъ весьма цѣнныхъ качествъ камня. Наконецъ, для равномерности изнашиванія жернововъ, необходимо, чтобы камень былъ однороденъ. Наилучше пригодны для жернововъ камни кварцевой породы, отличающіеся большою твердостью и пористостью<sup>1)</sup>, но нерѣдко употребляются также песчанниковые, гранитные и базальтовые (рейнскіе)



Фиг. 346.

жернова. Такъ какъ большіе однородные камни встрѣчаются рѣдко, то хорошіе жернова болѣею частью приготовляются изъ отдѣльных кусковъ, тщательно подобранныхъ и склеенныхъ гипсомъ, разведеннымъ на квасцовой водѣ, или цементомъ.

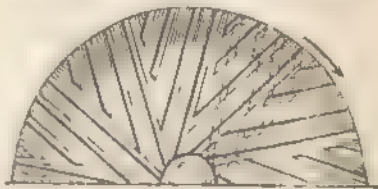
Мелющія поверхности обоихъ жернововъ тщательно выравниваются подъ ливейку и снабжаются особыми бороздками, способ-

<sup>1)</sup> Лучшіе кварцевые камни добываются во Франціи около г. *La-Ferté-sous-Jouarre*, въ департ. Сены и Марны. Лучшими жерновами у насъ считаются московскіе, пронскіе, съ Урала и изъ области В. Донскаго.



ствующими размельченію и перетвиженію размолотыхъ зеренъ и образующими свою совокупностью такъ наз. *насыжку* жернововъ (фиг. 347). Насыжка на обоихъ жерновахъ чаще всего дѣлается одинаковая, а форма бороздокъ прямолинейная.

Въ виду того главнаго условия, чтобы при движеніи бѣгуна бороздки перекрещивались между собою, дѣйствуя на подобіе ножницъ, направленіе ихъ должно составлять нѣкоторый уголъ съ радиусомъ. Число главныхъ бороздокъ берется въ зависимости отъ діаметра жернова; промежуточные бороздки параллельны главнымъ и бываютъ числомъ отъ 2 до 4. Запунктированное кольцо (фиг. 347) представляетъ наковку части мелющей поверхности, состоящую изъ мелкихъ бороздокъ, параллельныхъ главнымъ и сдѣланныхъ съ цѣлю, придавая камню большей шероховатости. Ширина кольца дѣлается около 8—10 дюйм. Остальная часть мелющей поверхности дѣлается постепенно углубленною къ центру, вследствие чего образуется вогнутость или такъ наз. *млотокъ*. Опытъ показалъ слѣдующія выгоды насыжки: 1) движеніе частицъ отъ центра къ окружности совершается быстрее, 2) мука варѣвается меньше, вследствие того, что воздухъ проходитъ по бороздкамъ, имѣетъ болѣе доступъ къ мелющимъ поверхностямъ, 3) расходъ работы на помолъ меньше.



Фиг. 347

На фиг. 348, изображающей разрывъ обоихъ жернововъ плоскостью, перпендикулярною къ мелющимъ поверхностямъ, представленъ послѣдовательный рядъ процессовъ, происходящихъ съ зерномъ при движеніи бѣгуна (по стрѣлкѣ). Въ бороздкѣ А, ближайшей къ очку бѣгуна, зерно начинаетъ только дупиться, въ слѣдующей бороздкѣ В зерно дупится болѣе дѣлательно—разрывается, причемъ оболочки отъ него откапываются; въ бороздкѣ С зерно уже крошится причемъ частицы выносятся на мелющую поверхность между бороздками (на наковку), гдѣ окончательно размельчаются. Этотъ рядъ процессовъ происходитъ послѣдовательно въ каждой отдельной бороздкѣ.



Фиг. 348.

Каждый изъ жернововъ имѣетъ въ серединѣ отверстіе (*глазъ, очко*), служащее для прохода перетена а. Черезъ верхнее очко происходитъ *итаме* поставка зерномъ. По мѣрѣ истиранія бѣгуна, чтобы пополнить потерянный вѣсъ, накладываютъ на него сверху камни; когда бѣгунъ сильно оботрется, его дѣлаютъ нижнякомъ.

*Параллица.* Соединеніе веретена съ бѣгуномъ производится при помощи такъ наз. *параллицы* de, имѣющей двойное назначеніе: поддерживать бѣгунъ въ опредѣленномъ разстояніи отъ нижняка



и передавать ему вращательное движение от веретена. Соединение может быть *глухое* и *качающееся* или свободное. Глухое соединение состоит в том, что параллель закрывается наглухо на веретень и вт. бѣгуны; при качающемся же соединении параллель насаживается свободно на веретень. Не говоря уже о болшей простоте установки и подъема бѣгуна, последний способ представляет преимущества перед первым в том отношении, что бѣгуны, имея возможность наклониться в ту или другую сторону, остаются горизонтальными даже когда веретено установлено не вертикально, сверх того случайно попавшее между мелющими поверхностями какою-либо твердое тѣло, заставляя жернов наклониться в соответственную сторону, не может причинить поврежденій самому соединению. По этимъ причинамъ изъ хорошихъ поставокъ предпочтительней свободное соединение. На фиг. 146, I представлена качающаяся параллель наиболее простой и употребительной конструкции. Она состоит изъ двухъ отдѣльных частей: желѣзной цѣпи или *бугеля* ( прочно закрѣпленного своими концами въ особые тѣла, вставляемыхъ въ бѣгуны, и подвѣшеннаго на стальной шаровой пифѣ, которую охватываетъ веретено и *гонялки* II), насаженной на верхній концы веретена (подъ шаровую пифу), имѣющей квадратное сѣчение. Концы гонялки дѣлаются въ видѣ вилокъ и охватываютъ, съ нѣкоторымъ зазоромъ, бугель, такъ что при вращении веретена гонялка передаетъ движение бугелю, а, слѣд., и бѣгуны. Главныя условия, которыя должны быть соблюдены при сборкѣ соединения, заключаются въ томъ, чтобы бугель могъ свободно качаться на пифѣ веретена во всѣ стороны и чтобы точка прикосновения параллели лежала на одной вертикали съ центромъ тяжести бѣгуна и при томъ *выше* этого центра, для того, чтобы бѣгуны находились въ устойчивомъ равновѣсѣи.

*Кружовинки*. Въ окошко лежня вставляется втулка или такъ наз. *кружовинка* I, служащая для направления вращательнаго движения веретена и перетрытая сверху крышкою II—охраняющая ее отъ засорения. Кружовинка дѣлается деревянная (изъ бука) но чаще всего металлическая и своимъ устройствомъ напоминаетъ подшипникъ. Тѣло кружовинки составляетъ чугунная втулка III (фиг. 146, II), снабженная центральнымъ отверстиемъ для прохода веретена и тремя гнѣздами, въ которые вставляются бронзовые вкладыши I, притягиваемые къ веретену при помощи клиньевъ i и гаекъ n. Камеры g,g служатъ для помѣщения смазки.

*Поднятникъ*. Нижній конецъ веретена упирается въ поднятникъ Z, установленный въ рамѣ X. Поднятникъ можетъ быть поднимаемъ или опускаемъ, вследствие чего поднимается также веретено, параллель и бѣгуны, и такимъ образомъ является возможность регулировать расстояние между мелющими поверхностями жернововъ. Съ этою цѣлью дѣйствуютъ на стержень Y, подпирающій

подпятник и снабженный на нижнем концѣ винтовой наръзкою. На последнюю надета гайка, хвѣщенная въ винтовомъ колесѣ  $q$ , сцепляющемся съ безконечнымъ винтомъ  $u$ . Вращая винтъ (отъ руки или регулятора) въ ту или другую сторону, поднимають или опускають стержень  $Y$ , а вмѣстѣ съ нимъ подпятникъ, веретено и бѣгунокъ.

*Передаточныя движущія веретена.* Движеніе веретену сообщается отъ машины-привателіа при помощи шестерни  $E$ , заклиненной на веретенѣ, посредствомъ длинной шпильки, допускающей перемещеніи шестерни вдоль веретена <sup>1)</sup>. Если нужно остановить поставъ, то расдѣляють шестерню  $E$  съ ведущимъ колесомъ, что достигается черезъ поднятіе шестерни при помощи кольца  $F$ , находящагося подъ нею. Кольцо это соединено посредствомъ двухъ вертикальных стержней (на фиг. не показаны) съ поперечною  $K$ , надѣтою свободно на стержень  $Y$  и опирающеюся на гайку, которая вставлена въ рукоятку  $R$ . Вращая рукоятку, поднимають вверхъ поперечину, а съ нею кольцо  $F$  и шестерню  $E$ . До тѣхъ поръ пока она не выйдетъ изъ зацепленія съ ведущимъ колесомъ.

<sup>1)</sup> Число оборотовъ и веретена опредѣлится по формулѣ  $n = \frac{60}{\pi D} \cdot c$ , гдѣ скорость  $c$  на окружности бѣгуна измѣняется въ пределахъ отъ 20 до 32 фут. При скорости, меньшей 20 ф., зерна дробятся и трясется и уменьшается производительность поставъ; при скорости большей 32 ф., хотя и дробится болѣе муки, но она слишкомъ перетрѣвается между жерновами и теряетъ свои хорошія качества <sup>2)</sup>.

*Питательные приборы.* Весьма важное условіе правильнаго помола составляетъ непрерывное и равномерное *питаніе* поставъ зерномъ или крупой, предназначенными къ помолу. Для этой дѣли служатъ такъ наз. *питательный* приборъ. Наилучшіе результаты достигаются при помощи *центробѣжнаго* прибора, изображеннаго на фиг. 316. Онъ состоитъ изъ горизонтальной тарелки  $L$ , укрѣпленной сверху парашуши. Зерна поднимаются къ тарелкѣ изъ воронки  $M$  по трубѣ  $N$ , проходящей въ осѣ. Дѣйствіемъ центробѣжной силы зерна, попавшія на вращающуюся тарелку, обра-

<sup>1)</sup> Кромѣ зубчатой передачи употребляется нерѣдко ременная передача, представляющая преимуществъ въ томъ отношеніи, что при ней избѣгаются удары и сотрясенія, неизбежныя при зубчатомъ зацепленіи, и сверхъ того сдѣлано и расдѣленіе поставъ съ передаточнымъ валомъ при ременной передачѣ совершается весьма просто дѣйствіемъ нажимнаго блика.

<sup>2)</sup> На мельницѣ Dargly въ St. Macl въ 40 поставовъ (двигатель — турбина въ 160 силъ), мука съ которой считается во Франціи наилучшею, жернова имѣють въ діаметрѣ 1.3 метра и дѣлають 120 обор. въ мин. слѣд.,  $c = 3.164$  м. (26.3 фут.) На мельницѣ въ Тагаиротѣ въ 36 поставовъ, построенной Ферберномъ (1860 г.), жернова имѣють діам. въ 4 ф. и дѣлають 160 обор., слѣд.,  $c = 32.97$  я.

сываются къ стѣнкамъ глаза, распредѣляясь равномерно по его окружности, чѣмъ достигается равномерное втягиваніе ихъ въ глотокъ жернововъ. Нижній конецъ трубы N сдѣланъ въ видѣ отворстка и можетъ быть установленъ выше или ниже, вследствие чего увеличится или уменьшится кольцевое пространство между концемъ трубы и тарелкою, опредѣляющее расходъ зерна, сообразно со скоростью вращенія бѣгуна.

Что касается величины работы, расходуемой на движеніе поставы, то точное опредѣленіе ея представляетъ непреодолимую трудность, вследствие весьма сложной зависимости ея отъ многихъ обстоятельствъ: количества смалываемыхъ зеренъ, скорости бѣгуна, остроты бороздокъ, разстоянія между мелющими поверхностями, давленія ихъ на зерна, качества жернововъ и зеренъ... На практикѣ, при расчетѣ поставовъ, пользуются эмпирическими формулами, изъ которыхъ наиболее согласуется съ дѣйствительностью формула *Навье*:

$$N = 0,001925 \frac{PDn}{75},$$

гдѣ N есть полная работа (въ пар. л.), необходимая для движенія поставы, P—вѣсъ бѣгуна въ кгз., D—его діаметръ въ м. и n—число оборотовъ бѣгуна въ минуту.

#### ЗАДАЧИ.

109. Дано для всасыв. насоса D=0,14 м., ходъ поршня l=0,942 м., число двойныхъ размаховъ въ минуту n=10, полная высота подъема воды H=11,5 м., коэфф. потерь  $\varphi=0,8$  и коэфф. полезнаго дѣйствія насоса  $\mu=0,70$ . Опредѣлить объемъ воды, поднимаемой въ сек., и работу, расходуемую для движенія насоса.

110. Дано для нагнет. насоса простаго дѣйствія: D=0,282 м., l=0,750 м., n=5, H=30 м.,  $\varphi=0,8$   $\mu=0,70$ . Опредѣлить объемъ воды, поднимаемой въ сек., и работу, необходимую для движенія насоса.

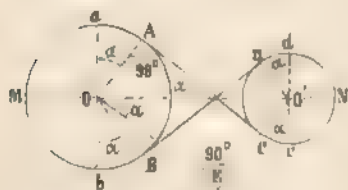
111. Нагнетательный насосъ двойнаго дѣйствія долженъ доставлять въ часъ 4000 ведеръ воды, на высоту 20 м. Опредѣлить діаметръ насоса, работу потребную для его движенія и объемъ воздушнаго колокола, принимая, c=0,8 м., число двойныхъ размаховъ n=20  $\varphi=0,8$   $\mu=0,70$ .

112. Опредѣлить размеры питательнаго насоса для котла зад. 90

## РѢШЕНІЕ ЗАДАЧЪ.

$$1. T_r F = f P \frac{2\pi n}{60} \quad 2. T_r F = \frac{2}{3} f P \frac{2\pi n}{60} \quad 3. 1) 75 N = P v = P \frac{2\pi R n}{60} = \frac{M \cdot 2\pi n}{60}$$

к. м. Отсюда:  $P = 716,56 \frac{N}{R n}$  к. м.  $M = 716,56 \frac{N}{n}$  к. м. 2) Изъ чертежа имѣемъ:



Фиг. 349.

$Q = P \sin \alpha$ . Но для устраненія скольженія моментъ тренія не долженъ быть менѣ момента усилія, вращающаго муфты, т. е.

$$f P R \geq M, \text{ откуда: } Q = \frac{M \sin \alpha}{f R}. \text{ Численный}$$

примеръ:  $Q = 100$  к. Такъ какъ сдѣленіе производится посредствомъ рычага, то усиліе рабочаго можетъ быть не велико.

$$4. \alpha_r = \pi - 2 \arcsin \frac{R - r}{d} \quad 5. \alpha_R = \pi R +$$

$$+ 2 \arcsin \frac{R + r}{d} \quad 6. \alpha_r = 22,65^\circ, \alpha_R =$$

$$-110,22^\circ. 7. L = \overset{\frown}{aMb} + 2\overset{\frown}{Aa} + 2\overset{\frown}{AC} + d\overset{\frown}{Nc} + 2\overset{\frown}{Pd} \text{ (Фиг. 349)} \text{ Но } \overset{\frown}{aMb} = \pi R,$$

$$\overset{\frown}{Aa} = R\alpha, d\overset{\frown}{Nc} = \pi r, \overset{\frown}{Pd} = r\alpha. \text{ Далѣе изъ прямоуг. } \triangle \text{ ка } OEO \text{ находимъ: } OE = AC =$$

$$= OO \cos \alpha = d \cos \alpha \text{ и } \sin \alpha = \frac{OE}{OO} = \frac{R + r}{d}. \text{ слѣд. } L = \pi (R + r) + 2\alpha (R + r) +$$

$$+ 2d \cos \alpha, \text{ гдѣ } \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \left(\frac{R + r}{d}\right)^2} \text{ и } \alpha = \arcsin \frac{R + r}{d}$$

поэтому:  $L = (R + r) \left[ \pi + 2\alpha \right] + 2d \sqrt{1 - \left(\frac{R + r}{d}\right)^2}$ . При проектированіи ступенчатыхъ шкивовъ радиусы каждой пары ступенекъ опредѣляются, такимъ образомъ, чтобы одинъ и тотъ же ремень годился для всѣхъ паръ. Такъ какъ въ каждомъ перекрестномъ ремни одна его  $L$  зависитъ только отъ суммъ радиусовъ шкивовъ. То требуемое условіе будетъ соблюдено, если сумма радиусовъ каждой пары будетъ равна одной и той же постоянной величинѣ. Выбравъ радиусы  $r$  и  $R$  шкивъ въ первой ступенчѣ (соотвѣтственно заданному для нея передаточному числу  $k$  будемъ имѣть для опредѣленія радиу-

$$\text{совъ 2-й ступенчѣ два ур.: } R_2 + r = R + r = \text{Const и } \frac{R_2}{r} = k_2 \quad 8. \text{ Про}$$

ведя влѣшняя касательныя къ шкивамъ (фиг. 349), найдемъ совершенно такими же способомъ, какъ и въ задачѣ 7, требуемое равенство  $L = \pi(R+r) +$

$$+ 2(R-r) \arcsin \left( \frac{R-r}{d} \right) + 2d \sqrt{1 - \left( \frac{R-r}{d} \right)^2} \dots (a). \text{ Изъ этого ра-}$$

венства видно, что для того, чтобы одинъ и тотъ же ремень годился для всѣхъ паръ ступенчатыхъ шкивовъ, недостаточно уже, какъ для перекрестнаго ремня, чтобы  $R+r=R_2+r_2$ . Слѣдуетъ въ *случаѣ открытаго ремня* при проектировании ступенчатыхъ шкивовъ опредѣлять сначала по заданному передаточному числу  $k$  радиусы  $R_1$  и  $r_1$  шкивовъ первой ступеньки, а затемъ изъ опредѣлять длину  $L$  ремня по формулѣ (a). Тогда для опредѣленія радиусовъ  $R_2$  и  $r_2$  2 й ступеньки будетъ имѣть два уравненія  $L = \pi(R_1+r_1) +$

$$+ 2(R_1-r_1) \arcsin \left( \frac{R_1-r_1}{d} \right) + 2d \sqrt{1 - \left( \frac{R_1-r_1}{d} \right)^2} \text{ и } \frac{R_1}{r_1} = k. \text{ На практикѣ}$$

обыкновенно ведутъ расчетъ по способу приближенія. Принимаютъ  $\arcsin \left( \frac{R_1-r_1}{d} \right) = \frac{R_1-r_1}{d} \text{ и } 2d \sqrt{1 - \left( \frac{R_1-r_1}{d} \right)^2} = 2d \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{R_1-r_1}{d} \right)^2 \right\}.$

$$\text{Тогда } L = \pi(R_1+r_1) + \frac{2d^2 + (R_1-r_1)^2}{d} \dots (b). \text{ Затѣмъ опредѣляютъ } R_2 \text{ и } r_2$$

какъ для перекрестнаго ремня, т. е. по формулѣ  $R_2+r_2=R_1+r_1$  и  $\frac{R_2}{r_2}=k$ ; внося въ формулу (b) разность  $R_2-r_2$  найденныхъ такимъ способомъ радиусовъ второй ступеньки, находятъ ихъ сумму  $R_2+r_2$ , изъ которой при помощи равенства  $\frac{R_2}{r_2}=k$  опредѣляютъ окончательныя значенія  $R_2$  и  $r_2$ . 10. Р Т -

$$= t - t \left( e^{\frac{f_1 \alpha}{2}} - 1 \right) / e^{\frac{f_2 \alpha}{2}} = 2,41. \text{ слѣд } t = \frac{60}{2,41 - 1} = 42,55 \text{ кг. На практикѣ,}$$

съ цѣлью предупредить скольженіе ремня по шкиву, вследствие случайнаго вращенія соприкасаемыхъ, величину  $t$  увеличиваютъ на 10%, такъ что  $t = 46,805 \text{ кг}$ . Слѣд.:  $T = 16,805 + 60 = 106,805 \text{ кг}$ . Первоначальное натяженіе ремня будетъ:  $T = \frac{1+t}{2} = 76,805 \text{ кг}$ . 11. По Редтенбахеру жесткость каната

выражается  $S = \varphi \frac{\delta^2}{R} Q$ , гдѣ  $\varphi$  — постоянный коэфф.,  $\delta$  — діаметръ каната,  $R$  — радиусъ блока,  $Q$  — поднимаемый грузъ. Если обозначимъ буквою  $F$  площадь каната, то  $\delta^2 = \frac{4F}{\pi}$  слѣд.  $S = \varphi \frac{4F}{\pi R} Q$  для ремня  $F = ab$ , вѣсего  $Q$  можно подставить среднюю натянутость  $T_0 = 1,5P$ , слѣдовательно, жесткость набѣгающей на ведущій шкивъ вѣтви выразится  $S_1 = 6\varphi P \frac{ab}{\pi r}$ , а жесткость

вѣтви, набѣгающей на рабочий шкивъ  $S_2 = 6\varphi P \frac{ab}{\pi R}$ . Принимая скорость ремня одинаковою для обоихъ шкивовъ, получимъ полную работу жесткости въ сек.:  $(S_1 + S_2) v = 6\varphi \frac{ab}{\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right) Pv$ , гдѣ  $Pv$  есть заданная величина передаваемой шкивами работы. Величина коэфф.  $\varphi$  по Редтенбахеру — 13,

если за единицу длины принять метръ, а за единицу силы килограммъ. Среднимъ числомъ потеря работы на жесткость составляетъ около 3%. 12. Нормальное давленіе въ каждой сепи  $Q = T + t = 3P$ , а треніе  $= 3fP$ ; оно приложено по касательной къ осямъ. Считая эти тренія приложенными по касательной къ окружностямъ шкивовъ (относя ихъ къ окружностямъ шки-

вошь), найдем их величины  $F_1$  и  $F_2$  из условий, что их моменты относительно осей ведущего и рабочего шкивов равны моментам трения  $3fR$  от носительно тех же осей, т. е.  $F_1 = 3fR \frac{\rho_1}{r}$  и  $F_2 = 3fR \frac{\rho_2}{R}$ . Полная работа

трения будет  $T_r F = (F_2 + F_1) v = 3f \left( \frac{\rho_1}{r} + \frac{\rho_2}{R} \right) P v$ , где  $Pv$  есть заданная

величина передаваемой ремнем работы. 13. Если  $Pv$  есть передаваемая ремнем работа,  $f$  коэфф. трения смазанных цапф, то полная потеря работы от трения в цапфах шкивов и жесткости ремня будет:  $T_{тр} = Pv$

$\left\{ \frac{6\pi a b}{\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right) + f \left( \frac{\rho_1}{r} + \frac{\rho_2}{R} \right) \right\}$ . Приняв  $f = 0,08$  и  $\varphi = 13$ , най

дем  $T_{тр} = 0,12498 Pv$  к. м, т. е. на трение и жесткость теряется приближенно около 12,5% передаваемой работы. 14.  $N = 8,75 = 600$  к. м. Переда-

ваемое усилие  $P = \frac{600}{v} = \frac{600 \cdot 30}{\pi n} = 127,4 \text{ kg}$ ,  $t = \frac{P}{f_2 - 1} = \frac{127,4}{2,02 - 1} =$

$= 124,9 \text{ kg}$ , увеличивая его на 10% получим  $t = 137,39 \text{ kg}$ , след.  $T = 127,4 +$

$+ 137,39 = 264,79 \text{ kg}$ . 15. 1)  $d = d_2 = 2016$  м, скорость на окружности шкива  $v = 10,56$  м, 2)  $P_1 = 146,8$  к,  $P_2 = 213,07$  к,  $P_3 = 281,09$  к. 3) Ил

нимая дугу, охватываемую канатом на каждом из шкивов, равно  $0,8\pi$ , найдем  $t = \frac{P}{2,01 - 1} = 143,92 \text{ kg}$ , увеличив его на 10% (зад. 10),

получим  $t = 158,31$  след.  $T_1 = P_1 + t = 305,1 \text{ kg}$ . Подобным же образом

найдем  $T_2 = 412,9$  к;  $T_3 = 590,5 \text{ kg}$ . 16.  $r = \frac{n'd}{n+l}$ ,  $r = \frac{n'd}{n+l}$ . 18.  $R = 0,44$  м;

$r = 0,06$  м,  $d = 264$ . 19.  $r = 0,728$  м;  $d = 2,328$  м. 20.  $n = 1864,8$ ,  $\omega = 197,18$ .

21.  $r = 1 \frac{2}{3}$  фут;  $r' = 8 \frac{1}{8}$  ф. 22. Для определения шага зацепления  $p$

подходят формулы Тредгольда  $P = Ar^2$ , которая выведена из предположе-

ния, что все давление  $P$  в зубах, сосредоточено на одном зубе и при-

ложено на его центр. Если в этой формуле  $P$  выражено в  $\text{kg}$ , и  $r$  в

сант., то  $A$  имеет следующие значения: 54 для машин, приводимых

в движение руками 36 для машин, получающих движение от неосу-

щенных двигателей, но работающих без значительных ударов 25

при сильных ударах и 17 для деревянных зубцов. Сперва этой

формулы для решения задачи имеем:  $\pi r = 27$  г, где  $\pi$  есть число, зубцов

шестерни, кроме того имеем, назвав буквою  $v = \frac{2\pi n}{60}$  скорость на нача-

лах окружностей колес:  $Pv = \frac{2\pi n}{60} = 75N$  к. м, где  $P$  есть момент

силы  $P$  относительно оси шестерни, означив его буквою  $M$ , получим:  $M =$



зубцовъ на шестернѣ при  $k = 2.1$  будетъ  $m = 25$ ; слѣд.:  $m' = 52.5$ , примемъ

$m = 53$ , тогда  $k = \frac{58}{25} = 2.12$  Далѣе,  $r = \sqrt{\frac{Mm^2}{4\pi^2 A}} = 0.2$  м. ( $A = 36$ ;  $R =$

$= 2.12 \cdot 0.2 = 0.424$  м.;  $p = 0.05$  м.;  $c = 0.0239$  м. 25.  $k = \frac{55}{10} = 5.5$ ;  $r = \frac{4}{5.5 + 1} =$

$= 0.615$ ;  $R = 3.385$ ;  $P_v = 15N$  пуд. ф.  $= P \frac{2\pi r 55}{60} = 15.25$  п. ф.;  $P = 105.9$

пуд. По формулѣ Тредгольда находимъ,  $p = 2.73''$ , а  $m = \frac{2\pi r}{p} = 16.99$ ,  $m' =$

$= 93.225$ . 26.  $T_f = f\pi N \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right) \frac{\pi m}{60} = 3.225$  к. м. 27.  $T_f = f\pi P \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right)$

$v = T_a \pi f \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right)$ ;  $T_a = 20 \cdot 75 = 1500$  к. м.,  $T_f = 1500 \cdot 3.14 \cdot 0.11$

$\left( \frac{1}{180} + \frac{1}{60} \right) = 11.5$  к. м. 28.  $T_m = T_a + T_f - T_v \left\{ 1 + \pi f \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right) \right\}$ ,

откуда:  $T_a = P_v - \frac{T_m}{1 + \pi f \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right)} = \frac{6.75}{1 + \pi f \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right)} =$

$= 444.35$  к. м., слѣд., работа, поглощаемая трениемъ.  $T_f = 5.65$  к. м.

29 Пусть  $q$  будетъ давленіе на зубы колеса. Такъ какъ сила  $q$  дѣйствуетъ

по оси винта, то для равновѣсія его, не принимая въ расчетъ тренія, должно

быть:  $P = q \frac{h}{2L}$  или (такъ какъ  $\tan \alpha = \frac{h}{2\pi r}$ ),  $P = q \frac{r}{L} \tan \alpha$ , откуда

$q = \frac{P 2L}{h}$ . На колесо дѣйствуютъ двѣ силы:  $q$  и  $Q$ , для равновѣсія ихъ

должно быть  $P \frac{2\pi L}{h} R = Q r$ , откуда  $P = Q \frac{r h}{2\pi R L}$ . Численный примѣръ:

$P = 17.7$  фунт. Принимая въ расчетъ треніе, получимъ:  $P = q \frac{r \tan \alpha + f}{L (1 + f \tan \alpha)} =$

$= Q \frac{r}{R} \frac{r \tan \alpha + f}{L (1 + f \tan \alpha)}$ . Численный примѣръ:  $P = 45$  фунт. 31. Предполагая

что шатунъ остается параллельнымъ линіи мертвыхъ точекъ и называя

буквою  $P$  постояннае среднее усиліе, передаваемое шатуномъ пугонкѣ, будемъ

имѣть:  $T_f = P 2\pi r$  (въ одинъ оборотъ вала), а въ сек.:  $T_f = \frac{P 2\pi r n}{60}$ . Такъ

какъ скорость конца шатуна та же, что и пугонки, то  $P = \frac{30.75}{1.5} = 1500$  klg.,

слѣд.:  $T_f = 15.072$  к. м. 32.  $AB = AO + BO$ . Какой нибудь діаметръ, напр.,

проходящій чрезъ  $F$ , равенъ  $FO + DO$  (по симметріи нижней части съ ради-

сомъ  $OB$ ), но  $FO = OB = \frac{2}{6} AB$  а  $DO = AO + \frac{1}{6} AB$ ; слѣд.:  $FO + DO =$

$= AO + BO$  35 Проведемъ изъ середины  $M$  прямой  $AB$  линію  $MC' = OB$ . Такъ какъ  $AM = MB$ , то  $AC' = OM'$  слѣд., прямоугольные треугольники  $AMC'$

и  $OMC'$  равны а потому  $OM = AM$ . Это равенство справедливо для всякаго

положенія прямой  $AB$ , слѣд.,  $OM$  есть постоянная длинна и точка  $M$  описы-

2) и скорость конца рукоятки  $v' = 2,46 \left( 2 - \frac{27,5}{19,5} \right) = 1,45$  фут скорость груза  $c = v' \frac{P}{1,18Q} = 0,04698$  фут. б  $\mu = \frac{T_{11}}{T_{10}} = \frac{86,0,04698}{1,3766,145} = 83,7$ . 39. Для

прямого вала ур. моментов будетъ.  $8,40 = P_1 10 \left\{ 1 + 0,11 \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{50} \cdot \frac{5}{2} \right) \right\} + 0,11 (14 + 8 + P_1) 2$ , откуда  $P_1 = 29,87$  klg (безъ трения оно было бы  $= 32$  klg). Подобнымъ же образомъ составится ур. моментовъ для втораго вала  $29,87 \cdot 50 = P_2 10 \left\{ 1 + 0,11 \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{25} \cdot \frac{5}{2} \right) \right\} + 0,11 (40 + \left\{ P_1 + 29,87 \right\}) 2,5$ , откуда  $P_2 = 147,45$  klg (безъ трения,  $P_2 = 160$  klg.) Наконецъ для третьяго вала ур. моментовъ будетъ.  $147,45 \cdot 25 = Q \cdot 10 + 13 (0,025)^2 Q 100 + 0,11 (147,45 + 50 + Q) 3$ , откуда  $Q = 325,05$  klg, а безъ вредн. сопротивлений.

$Q = 406$  klg. 40.  $P = 8,85$  klg. 41.  $Q = 695,65$  klg. 42.  $P = Q \frac{h}{2\pi L} \cdot \frac{r'}{R} = \frac{Q}{171}$ . По теоремѣ моментовъ  $Q \cdot 3,2' = 100 \cdot 2,5$ , откуда  $Q = \frac{2500}{32} = 78,12$

пуд., слѣд.  $P = \frac{3124,8}{471} = 6,63$  фунта. 43. Расчетъ должно вести на 100 пуд., такъ какъ грузъ подвиженъ къ подвижному блоку 1) Двойная передача

$P = 1,86$  пуд., 2) тройная передача  $P = 0,277$  пуд. 44.  $0,85 P = \frac{1,5 \cdot 11 \cdot 60}{21 \cdot 7 \cdot 9}$

1,5 пуд., откуда  $P = 1,32$  пуд.,  $= 21,6$  klg., слѣд., 1 лошадь. По формулѣ Машеки,  $21,6 = 45 \left( 2 - \frac{v}{0,9} \right)$ , откуда  $v = 1,368$  м. Число оборотовъ колеса

$n = \frac{\text{нож}}{\pi} = \frac{30 \cdot v'}{\pi L} = 2,04$ . Шкивъ дѣлаетъ:  $\frac{60}{7} \cdot \frac{11}{9} = 22,3$  обор. въ

мин. 45. и  $3,4 = 0,1 \cdot 200 \cos \alpha + (200 + n \cdot 17) \sin \alpha$  Принимая  $\sin \alpha = \tan \alpha = 0,02$  и  $\cos \alpha = 1$ , получимъ  $n = 7,8$ , слѣд., 8 лошадей. По формулѣ по Бонстѣ бергу (§ 109) общая сила тяги 8 лошадей будетъ.  $3,4 + 7 \cdot 0,9 = 5,7$

пуд., а по формулѣ  $P = 0,1 \cdot 200 + (200 + 8 \cdot 17) \frac{1}{50}$  общая сила тяги должн

на быть.  $P = 26,6$  пуд., 49. Свободная поверхность есть плоскость, параллельная наклонной плоскости. 50. 1500 klg 51  $h = 20$  м. 52. 3200 klg

53. 2158,75 klg. 54. 1) сосудъ опускается  $p = p + \frac{1}{2} \rho (g + w) h$  Если  $w = g$ , то гидростатическое давление равно нулю; если  $w > g$  то гидростат. давление будетъ отрицательное вода течетъ назадъ. 2) сосудъ движется вверхъ  $p = p + \frac{1}{2} \rho (g + w) h$ . 55. 1,875 klg. 56. 66', фут 57. Верхнее выдерживаетъ давление  $\Delta \pi r^2 (h - \frac{1}{2})$ , нижнее.  $\Delta \pi r^2 (h + \frac{1}{2})$ . 58.  $Q = (P + \Delta \pi r^2) \frac{R^2}{r^2}$ . 59. 1.  $F = 92,95 + 6,76 = 99,71$  пуд., 2) 99,71  $\cdot 5,63 = 561,08$  пуд

60. Въсѣхъ плотинъ  $= \frac{(a + b + 2x) h \Delta \delta}{2}$ , а вертикальное давление воды на на

клонную стѣнку  $AB = \frac{a h \Delta \delta}{2}$ ; слѣд., полное давление плотины на ея осно-

ваніе  $= \frac{\Delta h}{2} \left\{ (a + b + 2x) \delta + a \right\}$ . Трение на основаніи будетъ  $f \frac{\Delta h}{2} \left\{ (a + b + 2x) \delta + a \right\}$ . Плотина можетъ быть сдвинута горизонтальнымъ давленіемъ воды,

не равно  $\frac{3h}{2}$  приравняв его трению, найдем  $x = \frac{h - \text{fac} 1 + \delta_1 - \delta_2}{-16\delta_1}$ . 61. В

первой жидкости тело вытесняется (по плав.)  $V\Delta\delta_1$ , а во второй  $V\Delta\delta_2$ . Имеем две ур.  $p_1 = P - V\Delta\delta_1$  и  $p_2 = P - V\Delta\delta_2$ , из которых находим  $V =$

$$= \frac{p_1 - p_2}{(\delta_2 - \delta_1)\Delta} = \frac{p_1 - p_2}{\delta_1 \delta_2} \cdot \frac{\delta_1 \delta_2}{\Delta}. \text{ Так как } \delta = \frac{P}{V\Delta}, \text{ то } \delta = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{1 - \delta_1}{\delta_2}. \quad 62. \delta =$$

$= 2^2 = 4$ . 63. Золота 1,240 кг, серебра 5,769 кг. 64. Давление паров на прессыемый предмет  $Q = 68,36$  фунт. Давление на ед. площади (кв. д.) ста

канн.  $p = 240,7$  фунт, а в атмосферах:  $\frac{240,7}{16,27} = 14,8$  ат. 65.  $v = 9,799$  м

66.  $v = 7,5$  м. 67. 44,75 фунт. 68. Так как разность давлений  $< \frac{1}{16}$ , то

можно принять формулу (185)  $v = 125,2$  м. 69.  $d = 0,8'$ ,  $70$   $n = 0,105$  м.

71.  $v = 1,5$  м. 72.  $v = 6,63$  м. 73.  $Q = 0,23$  куб. м. 74. 1) Так как высота воды в сосуде уменьшается постепенно, то движение воды будет равномерным замедленным. Пусть в некоторое время  $t$  скорость напавшей из  $v$  в  $v'$ ,

тогда пройденный путь  $s = \frac{v + v'}{2} \cdot t$ . В данном случае это будет длина

прямоугольной струи, вытекающей из отверстия во время  $t$ , ее объем будет

$$\mu \left( \frac{v + v'}{2} \right) t = \mu f \frac{V 2gh + V 2gh'}{2} t. \text{ Приравняв эту величину объему } F$$

( $h - h'$ ) вытекшей, по условию задачи, воды, найдем  $t = \frac{2f(h - h')}{\mu f \sqrt{2g} \left\{ \sqrt{h} + \sqrt{h'} \right\}}$

$$= \frac{2f(h - h')}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \sqrt{h} + \sqrt{h'} \right\}}. \quad 2) \text{ Сосуд опорожнится в течение времени } t =$$

$$= \frac{F \sqrt{2gh}}{\mu g t}. \quad 75. H = 2,09'. \quad 76. \text{ На высоту } 3,3'. \quad 77. Q = 165,89 \text{ куб. ф.} \quad 78. N =$$

$$= 0,76 \text{ пар. лоп.} \quad 79. 1) Q = 0,282 \text{ куб. м; } R = 1,858 \text{ м. Ширина колеса } L =$$

$$= 3,133 \text{ м. Число ковшей } m = 102, 2) r = 0,0787 \text{ м.} \quad 80. R = 8,15. \quad 81. Q = 0,25$$

$$N = 1,67 \text{ куб. м, слѣд., построение колеса требуемой силы возможно. слѣ-}$$

дующее, наклонный под  $45^\circ$ , а толщину слоя притекающей воды при

$$\text{мемь равно } 0,1 \text{ м } H = 0,1 \text{ м тогда ширина русла } L = \frac{Q}{0,8 \delta_1 \sqrt{2gh}} = 2,565 \text{ м.}$$

а длина лопаток  $l = 2,55 = 0,02 = 2,515$  м. Высота подпятника может

$$\text{быть принята } = \delta. \text{ Примемъ радиусъ колеса } R = 2 \text{ м. Наибольшая ско-}$$

$$\text{рость } v \text{ на окружности колеса } = 0,4 (= 0,1097) \sqrt{2gh} = 2,1049 \text{ м. Число}$$

$$\text{оборотовъ колеса въ мин. будетъ } n = \frac{30v}{\pi R} = 10,05. \text{ Высота лопатокъ } a = 2\delta, 2$$

$$\text{сб } v = 0,75 \text{ м. Число лопатокъ } m = \frac{2\pi R}{\pi \delta} = 17 \text{ (ближайшее целое число).}$$

$$82. v = 0,55 (= 0,55 \cdot 0,97) \sqrt{2gh} = 2,5885 \text{ м., } R = 1,091 \text{ м. Ширина колеса}$$

$$L = 1,675 \text{ м., высота лопатокъ } = 0,4 \text{ м., число ихъ } m = 40. \quad 84. Q = 2,5 \text{ куб. м.}$$

$$\text{Радиусъ щитового цилиндра } r = 0,85 \text{ м., внутренний радиусъ турбины } r = 0,84 \text{ м.}$$

$$\text{Наружный радиусъ турбины } r' = 1,17 \text{ м. Высота колеса } b = 2,1 \frac{r}{\sin \alpha}, \text{ при}$$

$\alpha = 30^\circ$ , будеть  $b = 0,176$  м Число оборотовъ турбины  $n = 37,356$ . Принимая число направляющих лопатокъ 24, найдемъ число лопатокъ турбины:  $24 \cdot 1,33 = 32$  **85**  $N = 65,2$  паръ лопатокъ  $I = 2,5$   $I_0 = 1,596$  **86** 1)  $N = 25,185$  паръ лопатокъ,  $n = 20$  **87**  $I = 9,17$  м **88** Количество теплоты, переходящей для образования пара,  $Q = 0,9 \cdot 5100 (806,5 + 0,305 \cdot 159 \cdot 40) + 0,1 \cdot 5100 \cdot 159 \cdot 40 = 288351$ , ед. тепла Количество теплоты, выделяемой топливомъ  $7000 \cdot 0,68 =$

$= 4760000$  ед. т. т., следовательно  $\mu = \frac{2883517}{4760000} = 0,605$ . **89**,  $0,65 \cdot 7000 \cdot x = 606,5 +$

$+ 0,305 \cdot 193,91 = 150$ , откуда  $x = 1,39$  kg. **93**  $P = \frac{\pi}{4} \cdot 0,785^2 \cdot 3 \cdot 10334 =$

$= 15001$  kg **94**  $N = k \cdot 42,57 = 0,60 \cdot 42,57 = 25,54$  паръ лопатокъ **95**  $N = k \cdot 74,6 =$

$0,65 \cdot 74,6 = 48,49$  паръ лопатокъ **96**  $15,55$  оборотъ **97** По формулѣ *Понсе*  $N = k \cdot$

$34,6 \cdot 10,5 = 364,3 = 17,32$  паръ лопатокъ **98** По формулѣ *Понсе*  $N = k \cdot 94,85 =$

$= 7,40896$  паръ лопатокъ **99**,  $n = 24,12$  оборотъ въ мин. **100**,  $7296,15$  kg. **101**, 1)  $N = k \cdot$

$50,0 \cdot 15,056 = 752,8$  паръ лопатокъ въ мин. **102** По формулѣ *Понсе*, при  $\varepsilon =$

$= 2$ :  $N = k \cdot 66,276 = 0,66 \cdot 66,276 = 43,742$  паръ лопатокъ а при  $\varepsilon = 5$ :  $N = k \cdot 43,1976 =$

$= 34,52$  паръ лопатокъ. **104**. 1)  $x = 0,1r$ ;  $y = 0,4r$ ; 2) а и b:  $I_1 = 0,55$  л. с.  $I_2 = 0,268$  л. с.

$I_3 = 0,55591$  л. с.  $I_4 = 0,010811$  л. с.  $I_5 = 0,0142$  л. с.  $I_6 = 0,0051$  л. с.  $I_7 = 0,0069$  л. с.

**105**  $\alpha = 0,492$  г,  $\beta = 0,449$  г  $\beta = 3^\circ 18,6'$  **106**  $0,8722$  л. **107** 1)  $P = 100$  kg.

2)  $10$  кг м **109**,  $Q = 0,00977$  кв. м  $N = 2$  лопатокъ **110**  $Q = 0,001994$  кв. м

$N = 2$  лопатокъ паръ лопатокъ **111**  $Q = 0,01866$  кв. м  $I = 0,66$  м  $N = 5,269$  паръ лопатокъ

составъ воздуха: количество принимаемой воды равно количеству воды, выходящей из цилиндра, будеть:  $0,10888$  куб. м.

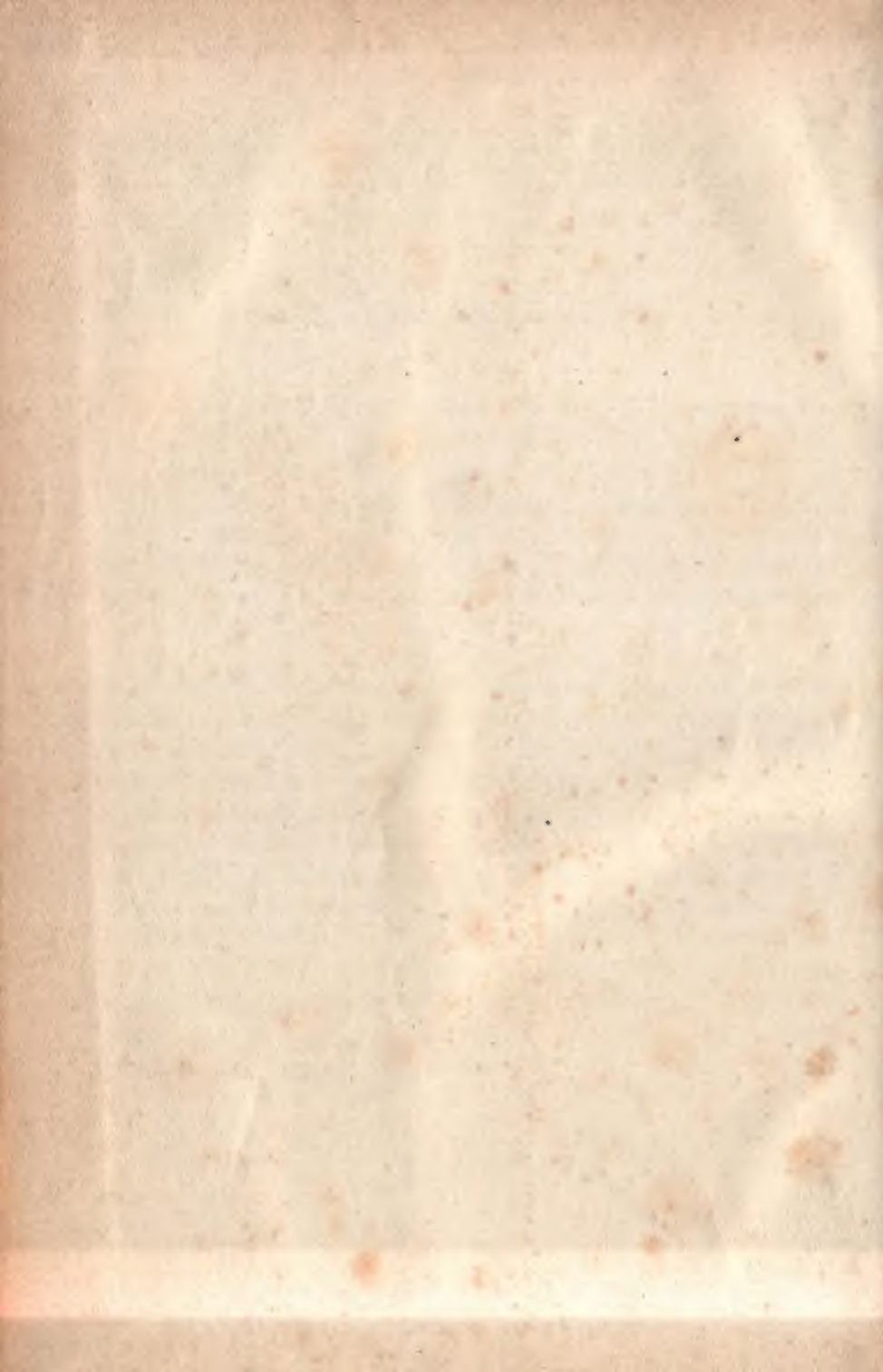
## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ.

**Bach**, Die Wasserräder. — **Blaha**, Die Steuerungen der Dampfmaschinen. — **Beretta**, Die Dampfkessel. — **Buchetti**, Les machines à vapeur. — **Busley**, Die Schiffsmaschinen. — **Grashof**, Theoretische Maschinenlehre. — **Denfer**, Les chaudières à vapeur. — **Евнѣичъ**, Курсъ прикладной механики и Курсъ гидравлики. — **Flegner**, Die Umsteuerungen der Locomotiven. — **Heusinger von Waldegg**, Handbuch des Eisenbahnwesens. — **Hrabák**, Die Dampfmaschinenberechnung. — **Кадіа и Дюбость**, Примѣненія электричества къ промышленности. — **Meissner**, Die Hydraulik und die hydraulische Motoren. — **Musil**, Die Motoren für das Kleingewerbe. — **Н. П. Петровъ**, Паровозы (литогр. курск.). — **Н. П. Петровъ**, Паровые котлы и паровыя машины (литогр. к.). — **Peillon**, Les pompes. — **Radinger**, Die Motoren. Bericht über die Weltausstellung in Wien 1873. — **Redtenbacher & Grashof**, Resultate für den Maschinenbau. — **Reiche**, Der Dampfmaschinenconstructeur. — **Reiche**, Die Maschinentabrication. — **Reiche**, Anlage und Betrieb der Dampfkessel. — **Riedler**, Dampfmaschinen. Bericht über die Weltausstellung in Paris 1878. — **Rühlmann**, Allgemeine Maschinenlehre. — **Rühlmann**, Hydromechanik. — **Rühlmann**, Vorträge über die Geschichte der Mechanik. — **Scholl**, Führer des Maschinenisten. — **Тиме**, Курсъ паровыхъ машинъ. — **Тиме**, Горнозаводская механика. — **Теннстремъ**, Паровозы. — **Uhland**, Handbuch für den practischen Maschinenconstructeur. — **Unwin**, The elements of construction. — **Weisbach** — **Hermann**, Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinenmechanik.

---







350



Грушевец

ПРИКЛАДНАЯ  
МЕХАНИКА

А. Д.